

\*ZWOS/ T01 T04 98-121515/12 \*DE 19632273-A1  
Summary of methods for tracking dynamics of living or artificial body - defines use of co=ordinate systems for identifying position or movement of body and means of transferring this data to other co=ordinate references

ZWOSTA II 96.08.09 96DE-1032273

P31 S02 S05 (98.02.12) G01D 21/02, A61B 5/103, 5/11, G01B 21/04, G06F 3/00, G01D 5/12, 5/54

The document presents a summary of methods and procedures for determining the physical parameters governing the dynamics of individual elements of a human, animal or artificial body which moves in all dimensions.

A number of new applications for these methods are noted including medicine, sport, robotics, cyberspace, art, schools, training, etc. at the centre of which the concept of intelligent geometric sensor systems (IGSS) is emphasised.

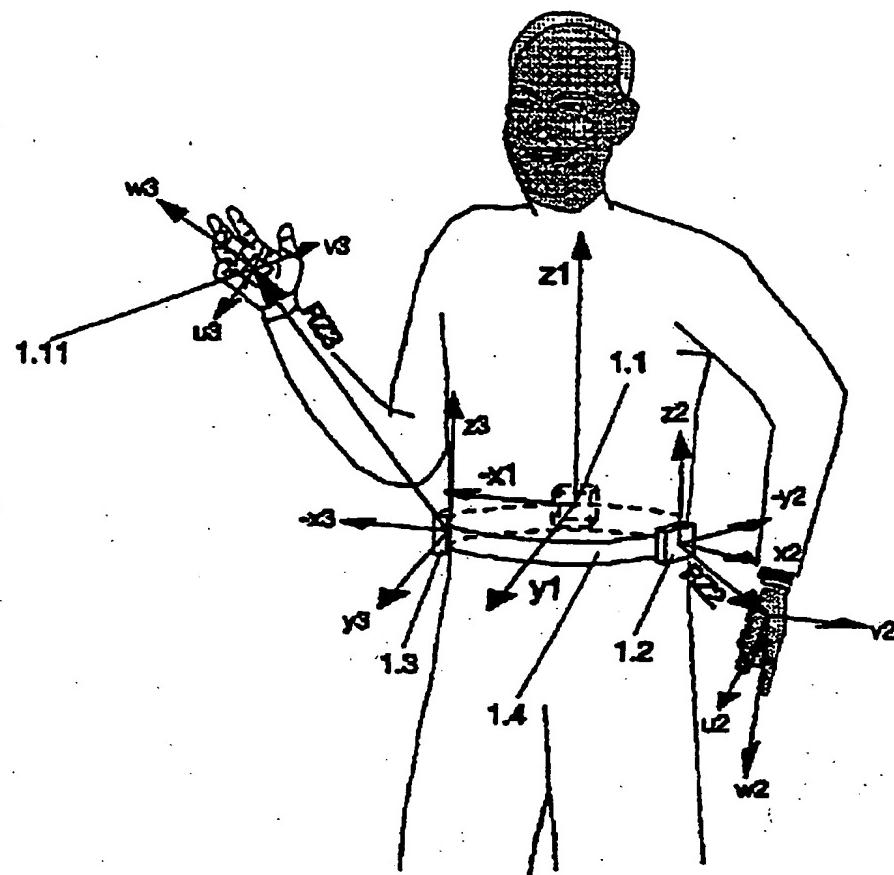
This concept is essentially concerned with the recording of movement/orientation data indexed by a particular co-ordinate system and the transfer of this data without impairment to other co-ordinate systems for generating a high resolution image of the body or any selected part.

USE - It has application in all of fields mentioned as realistic measurement tool

ADVANTAGE - IGSS system makes use of latest technological advancements in terms of sensing method, system software and processing hardware. (25pp Dwg.No.1/20)  
N98-096591

T01-C02B1E T01-C02B1J T01-C10 T04-F T04-X

BEST AVAILABLE COPY



(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

# (12) Offenlegungsschrift

## (10) DE 196 32 273 A 1

(61) Int. Cl. 6:  
**G 01 D 21/02**  
G 01 D 5/12  
G 01 B 21/04  
G 01 D 5/54  
A 61 B 5/103  
A 61 B 5/11  
G 08 F 3/00

(21) Aktenzeichen: 196 32 273.1  
(22) Anmeldetag: 8. 8. 96  
(23) Offenlegungstag: 12. 2. 98

DE 196 32 273 A 1

(71) Anmelder:  
Zwosta, Helge, 86399 Bobingen, DE

(72) Erfinder:  
gleich Anmelder

(56) Entgegenhaltungen:  
DE 42 40 531 C1  
DE 34 06 179 C1  
GB 22 91 167 A  
US 53 75 610  
EP 07 09 665 A2  
EP 05 39 264 A1  
EP 05 31 664 A2  
EP 02 40 023 A1  
EP 02 11 984 A1  
EP 00 04 888 A1  
WO 94 01 042 A1

HEUSER, Gerd, KLEIN, Ralf, FÜHRER, Ulrich: Sensorik für die Unfallsimulation für Kinder-Dummies. In: ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 95, 1993, 3, S.134-137;  
BLUMENSTOCK, Klaus-Ulrich: Flankenschutz. In: mot, 4/1997, S.56-60;  
UTERMÖHLE, Michael: Realität als Multiple Choice. In: IX 5/1995, S.68-83;  
Prakla-Seismos Information No.25, Prakla-Seismos GmbH, Hannover, 1981;  
JP 07-302158 A., In: Patent Abstracts of Japan;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Körpersensorik

(57) Die Erfindung beschreibt eine Vielzahl von Verfahren zur Bestimmung der Geometriegrößen eines bewegungsfähigen Körpers. Ein solcher Körper kann menschlich, tierisch oder künstlich sein.

Eine Vielzahl von neuen Anwendungen ist auf die Bestimmung von solchen Geometriegrößen eines Körpers angewiesen: Medizin, Sport, Robotik, Cyberspace, Kunst, Schule, Ausbildung u. a.

Im Mittelpunkt der Erfindung steht das Konzept der "intelligenten Geometriesensoriksysteme".

Dieses Konzept umfaßt

- die Erfassung,
- die Umrechnung auf ein Koordinatensystem,
- die Transformation auf beliebige andere Koordinatensysteme und
- den Datentransfer

unterschiedlichster Arten körpereigener Geometriegrößen mittels verschiedenartigster Meßmethoden. Dieses Konzept ist somit in der Lage aus einer gewählten Anzahl von Meßstellen ein geometrisches Abbild eines bewegten Körpers oder ausgewählter Teile in hoher Detailauflösung zu erstellen.

DE 196 32 273 A 1

## DE 196 32 273 A1

1

## Beschreibung

Der Erfassung von Geometriegrößen beweglicher Körper nimmt einen wichtigen Platz bei einer Vielzahl neu entstandener Anwendungen ein. Solche Anwendungen reichen vom Sport bis zur Kunst. Nachfolgend sind einige Beispiele aufgeführt.

## Sport

Für die Verbesserung von Leistungen ist es von Interesse die Bewegungsabläufe in Bezug, auf Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung zu kennen. Dabei kann der gesamte Bewegungsapparat eines Sportlers, oder auch nur Teile davon von Interesse sein.

## Robotik

Die Fernsteuerung von Robotern oder anderen künstlichen Maschinen welche in unzugänglichen Umgebungen (verseuchte Gebiete, Unterwasser, Weltall, Vakuumkammern) die Körperaktionen eines Menschen umsetzen um bestimmte Aufgaben zu lösen. Das "Teaching" von Robotern durch die Aktionsvorgabe eines entsprechend ausgerüsteten menschlichen Lehrers ist eine weitere Anwendung. Ein Roboter stellt aber genauso einen Körper dar, dessen Geometriegrößen zu erfassen von Interesse sein kann.

## Medizin

Die ferngesteuerte Chirurgie, auch minimalinvasive Eingriffe, sind hier Anwendungsgebiete. Das zweite Anwendungsgebiet betrifft die Bewegungskontrolle von Körperextremitäten, sowohl in der Rehabilitation als auch in der Physiotherapie von Behinderten.

## Ausbildung, Schule

Auf diesem Gebiet, liegt der Einsatz von Körperformen im Bereich von interaktivem Lernen in virtuellen Umgebungen. Die Ausbildung an einem virtuellen Motor, oder die Operation eines virtuellen Menschen seien hierzu Beispiele.

## Cyberspace

Das derzeit moderne Schlagwort umfaßt alle Bereiche von interaktivem Umgang eines menschlichen Körpers mit einem Computersystem und setzt somit die Erfassung von Körperformen voraus.

## Kunst, Spiele, Sport

In Kombination mit leistungsstarken Rechnern ist hier die Entstehung völlig neuer Formen zu erwarten: z. B. Ferntennis über Kontinente hinweg, Musik und Videostore durch Körperbewegungen und jede Art von interaktiven Spielen.

Die ersten Entdeckungen auf dem Gebiet der Körpersensorik stammen von:

Grimes: US-Pat: 4,414,537 Digital data entry glove interface filed: 15. Sept 1981

Lanier: Europa-Pat. 0 211 984 B1 Computer data entry and manipulation apparatus filed 19.08.85

Zimmermann: US-Pat. 4,988,981 Computer data entry and manipulation apparatus and method filed: 28. Feb. 1989

2

Kuipers: US-Pat 4,017,858 Apperatus for generating a nutating electromagnetic field filed: Feb. 28.1975

Kuipers: US-Pat 3,983,474 Tracking and determining orientation of object using coordinate transformation means, system and process filed: 21. Feb. 1975

Raab: US-Pat. 4,054,881 Remote object locator filed: 26. Apr. 1976

Raab: US-Pat. 4,314,251 Remote object position and orientation locator filed: 30. Jul. 1979

10 Zwosta: DE-Pat 34 22 737 C2 Elektronisches Körperinstrument Anmeldetag 19.6.84

Zwosta: US-Pat. 4,627,324 Method and instrument for generating acoustic and/or visual effects by human bodyactions filed: 17. Jun. 1985.

15 Die vorgenannten Erfindungen lassen zwei wesentliche Nachteile erkennen:

Erstens: Sie sind immer auf eine bestimmte Anwendung oder ein bestimmtes Körperteil beschränkt. Zweitens sie liefern keine Koordinatenwerte, welche die Voraussetzung für geometrische Abbildungen sind.

Diese beiden Nachteile werden in vorliegender Patentschrift durch die Erfindung von INTELLIGENTEN GEOMETRIESENSORIKSYSTEMEN (künftig wegen der Wortlänge IGSS abgekürzt) ausgeräumt. Außerdem ist in den Nebenansprüchen ganze Reihe Erfassungsmethoden von körpereigenen Geometriegrößen angegeben. (Solche Geometriegrößen sind i.a. Wege, Abstände, Dicken, Winkel, Positionen, Orientierungen und deren zeitliche Ableitungen).

30

INTELLIGENTE  
GEOMETRIESENSORIKSYSTEME (IGSS),  
Teilkordinatensysteme

35 Die vorliegende Erfindung verwendet vielfach des Konzept intelligenter Geometriesensoriksystme zur Bestimmung von Geometriegrößen. Das Attribut "intelligent" bezieht sich hierbei auf die Verwendung von Datenverarbeitungsmitteln (z.B. Mikrocomputern), und

40 deren Programmen. Ein IGSS ist ein abstraktes Gebilde, welches erst durch die jeweilige technische Anwendung seine konkrete Ausgestaltung erfährt. Die Beschreibung was ein solches IGSS ist, wird in Anspruch 1 gegeben und hier nochmals mit etwas anderen Worten erklärt.

45 Ein IGSS besteht aus einem Sensorikteil, einer Datenverarbeitung und einem Busanschluß. Der Datenverarbeitung kommt dabei die Aufgaben der Transformation der Meßdaten in anwendungsbezogene Daten, deren Transport, sowie die Kommunikation mit anderen Datenverarbeitungsstellen zu. Da die vorliegende Erfindung Geometriegrößen betrifft wird eine häufige Aufgabe der Datenverarbeitung die Umwandlung von elektrischen Meßwerten in geometrische Größen sein. (Es kann aber auch die Aufgabe bestehen die Meßwerte, direkt in Anwendungsgrößen zu transformieren). Das Konzept der IGSS ist auf jeden Fall für eine Vielzahl von Anwendungen geeignete welche letztlich nur von ihrer jeweiligen Meßwerterfassung und Software abhängen. Ein besonderer Vorteil des IGSS-Konzeptes ist

50 die Bildung von Koordinatensystemen. (Dies ist eben eine spezielle Form von Meßwerterfassung und -transformation). Das Koordinatensystem jedes IGSS's kann selbst als Sensorikteil eines übergeordneten IGSS's ausgebildet sein und eröffnet damit die vielfältigsten geometrischen Bestimmungsmöglichkeiten. Durch Koordinatentransformation kann eine Geometriegröße auf unterschiedlichste Systeme bezogen werden. Darin liegt

65 nun auch der besonderer Wert bei der Geometriegröße

## DE 196 32 273 A1

3

Benbestimmung komplexer Gelenksysteme wie sie beispielsweise durch den menschlichen Körper gegeben sind. Die Ausbildung von hierarchisch aufgebaute Teilkoordinatensystemen (z. B. 1tes Koordinatensystem "menschliche Hand", 2tes Koordinatensystem "Schulter", 3tes Koordinatensystem "Hüfte", Körperhauptkoordinatensystem "Rücken" und letztlich ein externes Koordinatensystem) ermöglicht die Erfassung von Geometriegrößen bezüglich jedes Teilkordinatensystems, aber wo nötig auch bezüglich jedes übergeordneten Koordinatensystems. Neben der analytisch exakten Positions- und Orientierungsangabe von gewünschten Körperstellen entspricht dadurch auch deren Meßgenauigkeit vorteilhaft der jeweilige Anwendung. (Für feine Fingerbewegungen wird man sicher mit einem Teilkordinatensystem "Hand" arbeiten, für tänzerische oder sportliche Körperbewegungen genügt eine Geometriegrößenbestimmung bezüglich des "Teilkordinatensystems" "Hüfte" oder gar "Rücken" bzw. eines externen Koordinatensystems.) Durch das Konzept der Teilkordinatensysteme können somit alle Körperteile erfaßt werden oder nur ausgewählte Körperteile, bezüglich des für die jeweilige Anwendung in Frage kommenden Koordinatensystems. (Fingerbewegungen für einen Tastatursatz bei der PC-Eingabe benötigen kein externes Koordinatensystem, wohl aber Fingerbewegungen zur Steuerung eines Roboter-Greifers oder eines chirurgischen Eingriffes).

Zum Abschluß dieses Abschnittes wird darauf hingewiesen, daß IGSS und Teilkordinatensysteme nicht identisch sein müssen. Ein IGSS kann bei geeigneter Sensorik und Software ein Koordinatensystem ausbilden, muß dies aber nicht. Es konnte ebenso gut einen einzigen Meßwert erfassen und mit einer Nulltransformation weiterleiten.

Fig. 1 zeigt einen Menschen an dessen Körper mehrere intelligente Geometriesensoriksysteme (nachfolgend IGSS genannt) entsprechend Anspruch 1 angebracht sind. Am stabilen Gürtel 1.4 sind die drei entsprechend indizierten Referenzkoordinatensysteme x1, y1, z1/x2, y2, z2/x3, y3, z3, der drei Haupt-IGSS 1 (- Rücken), 2 (- Hüfte-Hand links), 3 (- Hüfte-Hand-rechts) eingezeichnet. Alle drei Haupt-IGSS im Ausführungsbeispiel von Fig. 1 sind auf dem in Anspruch 3 beschriebenen Verfahren von körperbefestigten Felderzeugern und Felddetektoren aufgebaut. Zu IGSS 2 gehört dann noch das Sensorkoordinatensystem u2, v2, w2, der linken Hand und zu IGSS 3 das Sensorkoordinatensystem u3, v3, w3, der rechten Hand. Das Referenzkoordinatensystem x1, y1, z1 von IGSS 1 ist für beide Hände zuständig, wenn sie sich im Ortungsschatten ihrer primären Referenzkoordinatensysteme befinden. Jedes der drei Referenzkoordinatensysteme x1, y1, z1/x2, y2, z2/x3, y3, z3, ist selbst wieder Sensorkoordinatensystem bezüglich des externen Koordinatensystems xe, ye, ze, entsprechend Fig. 3. Aufgrund des stabilen Gürtels 1.4 an dem alle 3 Referenzkoordinatensysteme festigt sind, ist ihre Position und Orientierung zueinander definiert, und es genügt jeweils eines als aktuelles Sensorkoordinatensystem bezüglich des externen Koordinatensystems xe, ye, ze, wie Fig. 3 zeigt. Die beiden anderen dienen diesbezüglich als Redundanz für den Fall der Körperabdeckung des Feldes.

Das technische Prinzip eines Referenzkoordinatensystems welches auf dem in Anspruch 3 beschriebenen Verfahren von körperbefestigten Felderzeugern und Felddetektoren beruht zeigt Fig. 1a als Ausschnittsvergrößerung des Gürtelteiles 1.3 von IGSS 3. Die drei

4

orthogonalen Spulen 1.5, 1.6, 1.7, werden von geeigneten Erregerströmen durchflossen die in der Controllereinheit 1.8 gebildet werden und ein nutzierendes Magnetfeld erzeugen, welches es nach dem Prinzip von US-Patent 4,017,858 (Apparatus for generating a nutating electromagnetic field/Inv. Kuipers) gestattet die Richtung eines Zeigers RZ3 anzugeben, der genau zum Ursprung des Sensorkoordinatensystems u3, v3, w3, zeigt. Dieses Verfahren ermöglicht auch die Orientierungswinkel des Sensorkoordinatensystems u3, v3, w3, aus den induzierten Spannungen der dort befindlichen Sensorspulen 21, 22, 23 (siehe Fig. 2) zu ermitteln. Das Prinzip eines nutzenden Magnetfeldes ergibt zwar einen Richtungszeiger RZ aber keinen Abstandswert. Im Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 wird der Abstand des Sensorkoordinatensystems u3, v3, w3 aus der Laufzeit eines Ultraschallsignales bestimmt, dessen Sender 1.9 im Ursprung des Referenzkoordinatensystems x3, y3, z3 sitzt (Fig. 1a) und dessen Empfänger 2.10 im Ursprung des Sensorkoordinatensystems u2, v2, w2 sitzt (siehe Fig. 2).

Anm.: Die Begriffe "Feld -oder Strahlungserzeuger" bzw. -detektor in Anspruch 3 wurden bewußt in dieser allgemeinen Form gewählt, weil sowohl magnetische, elektrische, elektromagnetische Gleich- und Wechselfelder als auch die Intensitätsverteilungen von Lichtstrahlungs- oder Schallabstahlungsquellen zur Anwendung kommen können.

An dieser Stelle der Beschreibung läßt sich der abstrakte Begriff "intelligentes Geometriesensoriksystem" anschaulich erläutern. Die Intelligenz liegt in Hard- und Software der Controllereinheit 1.8.

Diese muß außer der Feldsteuerung auch die Laufzeitmessung des Ultraschallsignals und wie sich zeigen wird noch weitere Aufgaben durchführen. Vom Empfänger 2.10 (Fig. 2) erfolgt nun eine Rückmeldung zur Controllereinheit 1.8, wenn das Ultraschallsignal dort eingetroffen ist. (Der Startzeitpunkt des Ultraschallsignals wird von der Controllereinheit 1.8 der Controllereinheit 2.8 über das Bussystem 2.9 mitgeteilt). Nun wird auch erkärbbar was unter einem IGSS zu verstehen ist. Die Gürtleinheit 1.3 von Fig. 1a — bestehend aus Controllereinheit 1.8, Ortungseinheit 1.10 (= Referenzspulen, 1.5, 1.6, 1.7 und Ultraschallsender/empfänger 1.9) sowie ein Teil der Handeinheit 2.4 in Fig. 2 — nämlich die drei Sensorspulen 2.1, 2.2, 2.3 der Ultraschall-empfänger 2.10 und das Bussystem 2.9, welches auch kabellos sein kann — bilden zusammen das IGSS 3. (Hüfte-Hand rechts). Hier wird deutlich, daß ein IGSS keine auf einen genau umgrenzten Raumbereich bezogene Einheit im herkömmlichen Sinne, sondern eine abstrakte Funktionseinheit ist. Das IGSS 3 steht über das Bussystem 2.9 mit dem IGSS3/1 (Hand-Finger-rechts) in Datenkommunikation, dies ist die oben angedeutete weitere Aufgabe der Controllereinheit 1.8.

Nun ist es auch sinnvoll den abstrakten Begriff Geometriegröße nochmals zu erläutern.

Ein IGSS ist je nach technischer Ausführung in der Lage unterschiedlichste geometrische Größen zu erfassen, dies reicht von einer Gelenkknickung über einen einfachen Abstand bis zur kompletten räumlichen Beschreibung durch sechs und mehr Variable eines Körperteiles. Aus diesem Grunde wird in den Ansprüchen von "mindestens einer Geometriegröße" gesprochen. Ein IGSS kann sensorisch erfaßte Signale in geometrische Größen umwandeln muß es aber nicht wenn die Anwendung dies nicht erfordert, weshalb in den Ansprüchen oft von "den Geometriegrößen zugehörigen

## DE 196 32 273 A1

5

6

Signalen" gesprochen wird.

Ein IGSS kann an verschiedenen Körperstellen Geometriegrößen erfassen (z. B. 5 Finger pro Hand) weshalb in den Ansprüchen auch von "mindestens einer Stelle eines Körpers" die Rede ist.

Fig. 2 stellt eine Ausschnittsvergrößerung der rechten Hand dar und dient der Erläuterung des im Ausführungsbeispiel dem IGSS-3 (Hüfte-Hand-rechts) untergeordneten IGSS-3/1 (Hand-Finger-rechts). Das IGSS-3/1 (Hand-Finger-rechts) ist bewußt auf einem anderen Sensorprinzip als das IGSS-3 (Hüfte-Hand-rechts) aufgebaut um die vielfältigen Ausgestaltungsmöglichkeiten eines IGSS nochmals zu verdeutlichen. Das IGSS-3/1 (Hand-Finger-rechts) verwendet deshalb im Gegensatz zum IGSS-3 (Hüfte-Hand-rechts) Ultraschall zur Positionsbestimmung der Finger und ist somit gleichzeitig Illustration für Anspruch 4. Im Sinne der Erfindung wird nun aus dem Sensorkoordinatensystem des IGSS-3 (Hüfte-Hand-rechts) das Referenzkoordinatensystem des IGSS-3/1 (Hand-Finger-rechts) und damit entsteht eine hierarchische Ordnung der IGSS und der Koordinatensysteme wodurch eine Koordinatentransformation der Geometriegrößen möglich wird. Auf der fest mit den Sensorspulen 2.1, 2.2, 2.3 verbundenen starren Platte 2.4 befinden sich in definierter räumlicher Beziehung die beiden Ultraschallsender 2.5 und 2.6, sowie der kombinierte Ultraschallsender/-empfänger 2.10. Aus den drei Abständen welche den Signallaufzeiten proportional sind, lassen sich für jede Fingerkuppe die Koordinaten im u3, v3, w3-System ermitteln, wenn jeder Finger einen Ultraschallempfänger 2.7 trägt, welcher den Zeitpunkt des Signaleintreffens zur Abstandsrechnung an die Controllereinheit 2.8 "weiterleitet" (hier mittels Kabel). Die einzelnen Sender takten entweder so hochfrequent, daß die Fingermechanik dagegen träge ist, oder sie verwenden unterschiedliche Frequenzen zu Unterscheidung. Diese Unterscheidung muß natürlich durch die Software der Controllereinheit 2.8 erfolgen. In Fig. 2 sind der Übersicht wegen nur drei Strahlen zu einem Finger gezeichnet um die drei Abstände anzudeuten. Je nach Aufwand der Controllereinheit 2.8 kann die Signalabfrage der Empfänger an den Fingerkuppen parallel oder gemultipliert erfolgen. Es ist noch darauf hinzuweisen, daß es im Falle einer räumlichen Erfassung der Fingerkuppen wohl nicht viel Sinn macht dort eine Orientierung zu definieren; insofern genügen die Ortskoordinaten jeder Fingerkuppe. Diese auf das Unterkordinatensystem x3, v3, w3, bezogenen Koordinaten können nun über den Bus 2.9 zum Hauptkoordinatensystem x3, y3, z3, weitergeleitet werden und wenn anwendungsbedingt notwendig aufgrund der Positions- und Orientierungskenntnis des Unterkordinatensystems x3, v3, w3, (- Sensorkoordinatensystem im IGSS-3 (Hüfte-Hand-rechts)) auf das Hauptkoordinatensystem x3, y3, z3 transformiert werden.

Fig. 3 dient der schon weiter oben begonnenen Erläuterung des Zusammenwirkens von körpereigenem und externem IGSS nach Anspruch 2. Das Sensorikprinzip ist das gleiche wie in Fig. 1. Die zum IGSS-1 (Rücken) gehörige Gürteleinheit 1.1 ist aufgebaut wie in Fig. 1 nur wirkt für das externe Koordinatensystem xe, ye, ze, Teil 1.9 von Fig. 1a jetzt als Ultraschallempfänger zur Abstandsbestimmung zum externen Ultraschallsender 3.7. (Mit dem abgestrahlten Ultraschallsignal wird gleichzeitig ein Funkimpuls 3.6 ausgesandt, der die Laufzeitmessung der Gürteleinheit 1.1 startet.) Das von den Referenzspulen 3.1, 3.2, 3.3 des externen Koordinatensystems erzeugte nutzende Magnetfeld liefert den

Richtungsvektor RZe und die Orientierung der Achsen x1, y1, z1 und entspricht in soweit auch dem Anspruch 18 einer externen Geometriegrößenbestimmung. Damit ist das körpereigene Koordinatensystem x1, y1, z1, bezüglich des externen Koordinatensystems xe, ye, ze bestimmt, und jegliche Koordinatentransformation von Körperstellen bezüglich x1, y1, z1, auf das externe Koordinatensystem ist möglich. Zu dem Zwecke der Koordinatentransformationen müssen dann die auf das Koordinatensystem x1, y1, z1 bezogenen Daten nur noch vorzugsweise drahtlos 3.5 zur externen Controllereinheit 3.4 transferiert werden. Die beschriebene Aufgabe kann auch von einer der beiden anderen Gürteleinheiten 1.2 oder 1.3 in Fig. 1 wahrgenommen werden, sobald 15 Gürteleinheit 1.1 vom Körper verdeckt, oder ihre Datenübertragung unterbrochen ist.

Die Orientierungsbestimmung mittels des Gravitations- und des Erdmagnetfeld ausnutzenden Mehrfachsensors wird heute standardmäßig in Datensichtthelmen (head mounted displays = HMD) eingesetzt und wird deshalb nicht näher erläutert. Allerdings ist die Orientierungsbestimmung dort auf das Koordinatensystem, welches durch das Gravitations- und das Erdmagnetfeld definiert ist, beschränkt.

Die in Anspruch 5 beschriebene rechnerische Verknüpfung von Werten solcher Mehrfachsensoren für Gravitations- und Magnetfeld (künftig GRAMAG-Sensor abgekürzt) mit Gelenkgrößen ermöglicht sowohl die Positionsbestimmung beliebiger Stellen von Gelenkgliedern als auch deren Orientierungsbestimmung bezüglich frei gewählter Koordinatensysteme, sowohl körperfixierter als auch körperexterner Art.

Fig. 4 zeigt ein Gelenkglied 4.0 welches mit seinem kugeligen Lagerzapfen 4.1 in einem hier nicht gezeichneten Lager gelagert ist. An einem beliebigen Ort auf dem Gelenkglied ist der GRAMAG-Sensor 4.2 befestigt. Der GRAMAG-Sensor 4.2 ist so aufgebaut, daß er ein orthogonales Koordinatensystem mit den Achsen u, v, w ausbildet. Die Beziehung der GRAMAG-Koordinatenachsen zum Relativvektor r<sub>B1</sub>, der vom GRAMAG-Sensor zum Bewegungszentrum BZ1 zeigt ist durch die drei Winkel v,  $\zeta$ ,  $\omega$  bestimmt. Die 9 Orientierungswinkel  $-\cos(u_x), \cos(u_y), \cos(u_z), \cos(v_x), \cos(v_y), \cos(v_z), \cos(w_x), \cos(w_y), \cos(w_z)$ , - der GRAMAG-Achsen u, v, w mit dem äußeren durch die Gravitationsachse g ( $-z$ ) und die Erdmagnetfeldachse B<sub>E</sub> ( $-Y$ ) gegebenen Koordinatensystem werden vom GRAMAG-Sensor 4.2 aufgrund seiner Funktionsweise erfaßt. (Der Übersicht wegen sind in Fig. 4 nur die Winkel  $\cos(w_x), \cos(w_y), \cos(w_z)$  der w-Achse gezeichnet.)

Der Relativvektor r<sub>B1</sub> zeigt durch seine feste Winkelbeziehung (Winkel v,  $\zeta$ ,  $\omega$ ) zu den Achsen des GRAMAG-Sensors 4.2 in jeder Lage des Gelenkgliedes 4.0 vom GRAMAG-Sensor 4.2 auf das in seiner Position noch

nicht bestimmte Bewegungszentrum BZ1 des Gelenkgliedes 4.0. Im Ausführungsbeispiel ist dieses Bewegungszentrum BZ1 die Mitte des Lagers 5.1 eines in Fig. 5 dargestellten Basiskörpers 5.0 in dem das Gelenkglied 4.0 aufgehängt ist. Damit ist aber die Position des GRAMAG-Sensors 4.2 bezüglich der Mitte des Lagers 5.1 - Bewegungszentrum BZ1 bestimmt, wenn man den - aus den 9 GRAMAG-42-Orientierungswinkeln und den konstanten Winkel v,  $\zeta$ ,  $\omega$  errechneten - aktuellen Vektor r<sub>B1</sub> invertiert. (-r<sub>B1</sub> zeigt von BZ1 zum GRAMAG-Sensor 4.2). Allerdings erfolgt die Positionsangabe des GRAMAG-Sensors 4.2 noch bezüglich des Gravitations-Erdmagnetfeld-Koordinatensystems [x, y ( $-B_E$ ), z ( $-g$ )].

## DE 196 32 273 A1

7

8

Bringt man wie in Fig. 5 gezeigt in definierter räumlicher Position (Vektor  $r_B$ ) zum Bewegungszentrum BZ1 des Gelenkgliebers 5.1 auf dem Basiskörper 5.0 einen weiteren GRAMAG-Sensor 5.2 an (vorzugsweise mit zum Basiskoordinatensystem  $[x_B, y_B, z_B]$  deckungsgleichen Achsen) und bestimmt über diesen die Orientierungswinkel zwischen dem Gravitations-Erdmagnetfeld-Koordinatensystem  $[x, y (-B_E), z (-g)]$  und dem Basiskoordinatensystem  $[r_B, y_B, z_B]$ . (Der Übersicht wegen wurden nur die drei Winkel  $\rho \sigma \tau$ , der maximal 9 Orientierungswinkel eingezeichnet), so kann die Orientierung des GRAMAG-Sensors 4.2 durch Koordinatentransformation auch bezüglich des Basiskoordinatensystems  $[x_B, y_B, z_B]$  angegeben werden.<sup>1)</sup> Die Position (Vektor  $r$ ) des GRAMAG-Sensors 4.2 erhält man wie in Fig. 5 dargestellt durch Addition des konstanten Vektors  $r_B$  zum Bewegungszentrum BZ1 und des aktuellen Relativvektors  $(-r_{BR})$  nach entsprechender Koordinatentransformation bezüglich des Basiskoordinatensystems  $[x_B, y_B, z_B]$ . Es ist nun selbstverständlich, daß wegen der Starrheit des Gelenkgliebers 4.0 auch die Position jedes anderen Punktes auf dem Gelenkglieber 4.0 – aus dessen einmal vermessener Relativlage – bezüglich des Bewegungszentrums BZ1 oder des Basiskoordinatensystems  $[x_B, y_B, z_B]$  aus den GRAMAG Winkeln erreichbar ist. So kann man zum Beispiel die Position des Achsendpunktes E durch Vektoraddition  $r_E = r_{RE} + (-r_{BR})$  erhalten.

Es ist bekannt, daß die 3-dimensionale Orientierungsdefinition weit mehr Formulierungsmöglichkeiten als die Positionsdefinition hat. Insofern kann die Orientierung des Gelenkgliebers 4.0 sowohl durch zwei auf das Basiskoordinatensystem  $[x_B, y_B, z_B]$  transformierte Achsen (z. B. u und v) des GRAMAG-Sensors 4.2 erfolgen, als auch übersichtlicher durch die Angabe der in Fig. 4 eingezeichneten Vektoren  $r_E$  (kennzeichnet die Gelenkgliedachse) und  $r_{RE}$  (zeigt vom Achsendpunkt E zum GRAMAG-Sensor 4.2).

Es sei noch erwähnt, daß entsprechend Fig. 3 und Anspruch 14 das Basiskoordinatensystem  $[x_B, y_B, z_B]$  nun noch bezüglich eines körperechten Koordinatensystems erfaßt werden und somit durch eine weitere Koordinatentransformation die Position des GRAMAG-Sensors 4.2 auf dieses körperechte Koordinatensystem bezogen werden kann.

<sup>1)</sup> Orientierungstransformation der GRAMAG-Sensor 4.2-Achsen auf das Basiskoordinatensystem  $[x_B, y_B, z_B]$  (Fig. 5).

Der Einfachheit wegen wird vorausgesetzt, daß der GRAMAG-Sensor 5.2 so angebracht ist, daß seine Achsen deckungsgleich mit den Basiskörperachsen  $x_B, y_B, z_B$  verlaufen.

Jede der GRAMAG-Sensor 4.2 Achsen u, v, w und jede der Basiskörperachsen  $x_B, y_B, z_B$  nimmt 3 Winkel mit dem Gravitationsvektor  $-z (= -g)$ , dem Erdmagnetfeldvektor  $y (= B_E)$  und einem fiktivrechnerischen Vektor  $x$  (senkrecht zu  $-z (= -g)$ ) und  $y (= B_E)$ , ein. Diese Achsen können als Richtungsvektoren (Länge 1) z. B.  $u = (\cos(x,u), \cos(B_E,u), \cos(-g,u))$  für GRAMAG 4.2 und  $x_B = (\cos(x, x_B, \cos(B_E,x_B), \cos(-g,x_B))$  für GRAMAG 5.2 beschrieben werden, deren Winkelgrößen ja durch Messung bekannt sind.

Dann besteht zwischen jeder GRAMAG 4.2 und jeder GRAMAG 5.2-Achse ein Winkel z. B.  $\cos(x_B,u) = x_B \cdot u / |x_B| \cdot |u|$  (s. Bronstein/Semendjajew "Taschenbuch der Mathematik" S. 146 oder 230).

Diese Operation ist nun schrittweise mit jeder GRAMAG 4.2-Achse und für alle drei GRAMAG 5.2-Achsen

durchzuführen.

Analog gilt dies natürlich auch für die Winkel des aktuellen Relativvektors  $r_{BR}$  und der Basiskörperachsen  $x_B, y_B, z_B$ .

Während Fig. 4 und 5 in sehr starkem Maße der Erläuterung von Anspruch 5 dienen, zeigt Fig. 6 ein einfaches praxisnahe Armsystem mit 2 Gelenken unterschiedlicher Freiheitsgrade.

Jedes der Gelenkglieder 6.1 und 6.2 trägt auf seiner Oberfläche einen GRAMAG-Sensor 6.3 und 6.4 Position und Orientierung von GRAMAG-Sensor 6.3 sind bezüglich des Lagermittelpunktes BZ1, der Längsachse L1-L1 des Gelenkgliebers 6.1, und der Drehachse D-D des Drehlagers 6.5 ausgemessen. Position und Orientierung von GRAMAG-Sensor 6.4 sind bezüglich des Lagermittelpunktes BZ2, (- Schnittpunkt von Gliederlängsache L2-L2 und Drehachse D-D), der Längsachse L2-L2 des Gelenkgliebers 6.2 und der Drehachse D-D des Drehlagers 6.5 ausgemessen. Damit sind zwei Relativvektoren  $r_{BR1}$  und  $r_{BR2}$  bezüglich der GRAMAG-Koordinatensysteme  $u_1, v_1, w_1$  und  $u_2, v_2, w_2$  definiert.

Aufgrund der von GRAMAG-Sensor 6.3 gelieferten Achswinkelwerte und des Relativvektors  $r_{BR1}$  kann zu jeder Stellung des Gelenkgliebers 6.1 ein Vektor  $r_{G1}$  errechnet werden, der vom Lagermittelpunkt BZ1 zum Lagermittelpunkt BZ2 zeigt und die Position von BZ2 definiert. Gleichzeitig definiert dieser Vektor  $r_{G1}$  natürlich auch die Achslage L1-L1 des Gelenkgliebers 6.1 im Raum. Die aktuelle Position des Lagermittelpunktes BZ2 (- Vektor  $r_{G2}$ ) bezüglich des zum Basiskörper 6.0 gehörigen Basiskoordinatensystems  $[x_B, y_B, z_B]$  erhält man aus der Addition des aktuellen Vektors  $r_{G1}$  und des konstanten Vektors  $r_B$ , welcher vom Basiskoordinatensystem  $[x_B, y_B, z_B]$  zum Mittelpunkt BZ1 des Kugelgliebers 6.6 zeigt und bekannt ist.

Die Achse D-D definiert die Drehorientierung beider Gelenkglieder und ist wegen der Starrheit der Teile durch die konstruktive Ausführung des Drehlagers als Drehachsvektor  $r_D$  zu ermitteln. Mit den beschriebenen Größen ist die Lage und Orientierung von Gelenkglied 6.1 vollständig erfaßt.

Von Gelenkglied 6.2 interessiere im Ausführungsbeispiel von Fig. 6 die Orientierung seiner Achse L2-L2 und die Position seines Endpunktes E2 im Raum. Beide Größen werden aus den gemessenen Achswinkelwerten des GRAMAG-Sensors 6.4 durch rechnerische Umformung in der selben Weise wie für Gelenkglied 6.1 erhalten. Der Unterschied besteht nur in der nun von Gelenkglied 6.1 abhängigen Lage des Lagermittelpunktes BZ2.

Zur den Passagen

"... – und wenn nötig der Beschleunigung ... und "... fallweise der Bewegungsmöglichkeiten eines Gelenkgliebers", in Anspruch 5 ist folgendes anzumerken:

Der bezüglich des Gravitationsvektors  $g$ richtungserfassende Teil des GRAMAG-Sensors besteht aus Massen und deren unterschiedlicher Kraftwirkung auf Auflager bei Winkelverdrehung bezüglich der Senkrechten. Schnelle Bewegungen führen nun zu zusätzlichen Massekräften in diesen Auflagern. Diese Massekräfte sind aber von der Bewegungsgeometrie abhängig und können damit bei bekannter Bewegungsgeometrie kompensiert werden, wenn an geeigneter Stelle (Basiskörper oder Gelenkglieder) weitere GRAMAG-Sensoren in eindeutig definierter räumlicher Beziehung angebracht und deren Meßwerte entsprechend in die Auswertung einbezogen werden. Da es sich i.A. um Drehgelenke handelt, werden die zusätzlichen Massekräfte durch Zentripetalbeschleunigungen hervorgerufen und

## DE 196 32 273. A1

9

sind somit abstandsproportional, wodurch das Kompen-sationskonzept dargelegt ist. Dies gilt auch für An-spruch 15.

Die Erfassung des Winkels den zwei Gelenkglieder miteinander einschließen gehört zum Stand der Technik und wird in der Hauptsache mittels in die Gelenkkäger, eingebauter oder angeflanschter Drehgeber analoger, digitaler oder inkrementaler Art gelöst.

Anspruch 6 beschreibt die Kombination von Verfah-ren der Ansprüche 3, 4, 5 mit Sensoriken, welche die die Knickung von Gelenken erfassen. Die Erfassung der Gelenkknickung ist dabei nur ein Teilespekt bei der Gewinnung von Geometriegrößen. Der bewußt einge-führte Begriff der Gelenkknickung, verdeutlicht außer-dem den über die Winkel erfassung erweiterten Ausfüh-rungsbereich der Sensorik. Die Knickung eines Gelenkes kann z. B. auch mittels des Relativweges eines über dem Gelenkkäger angebrachten biegeelastischen Bandes (siehe in Anspruch 7, 8, 9, 10) erfaßt werden. Weitere Methoden zur Erfassung der Gelenkknickung stammen aus dem Bereich von Datenhandschuhen. Nachfolgend wird für jede Kombination in Anspruch 6 ein Ausfüh-rungsbeispiel gegeben.

Es soll nochmals darauf hingewiesen werden, daß auch "zugeordnete Signale" unter Anspruch 6 fallen und so-mit die geometrischen Größen nicht bei jeder Anwen-dung benötigt werden. Es sind durchaus Anwendungen vorstellbar, welche die Sensoriksignale ohne Umwand-lung in geometrische Größen verwerten. Der einfache-ren Darstellung und Beschreibung wegen werden in den nachfolgenden Fig. 7 und 8 zweidimensionale Ausfüh-rungsbilder gewählt.

Fig. 7 zeigt die Kombination eines nutierendem Ma-gnetfeldes entsprechend Anspruch 3 mit der Gelenk-knickung. Auf einem Basiskörper 7.0 sind in definiertem Abstand A vom Gelenkkäger 7.1 die beiden orthogona-ten Felderzeugerspulen 7.2 und 7.3 angebracht. Diese erlauben aufgrund des oben beschriebenen Verfahrens des nutierenden Magnetfeldes, zusammen mit den auf dem Gelenkglied 7.6 befestigten Felddetektorspulen 7.4 und 7.5 und geeigneter Auswertemittel die Bestimmung des Winkels  $\Phi$  eines zu den Felddetektorspulen weisen-den Richtungszeigers RZ. Die zu erfassende Geometrie-größe ist in diesem Beispiel die Position der Felddetek-torspulen. Die Position ist eindeutig bestimmbar, wenn man bei konstantem Abstand A, außer dem Winkel  $\Phi$  noch den Winkel  $\alpha$  der Gelenkknickung in bekannter Weise erfaßt. Die Kenntnis des Felddetektorortes auf dem Gelenkglied 7.2 ist nicht nötig.

Das in Fig. 8 dargestellte Ausführungsbeispiel kombi-niert die Abstandsmessung mittels Ultraschall (entspre-chend Anspruch 4) mit der Gelenkknickung. Auch hier wird als Geometriegröße die Position eines Gelenk-gliedpunktes ermittelt. Die erfassende Position des auf dem Gelenkglied 8.1 befestigten Ultraschallempfängers 8.2 wird aus dem Abstand R zum Ultraschallsender 8.3, dem Gelenkwinkel  $\alpha$  und dem konstanten Abstand A von Ultraschallsender 8.3 und Gelenkkäger 8.4 be-stimmt. Die Abstandsbestimmung von R erfolgt wie üb-lich über die Signallaufzeit. Auch hier ist die Kenntnis des Ultraschallempfängerortes auf dem Gelenkglied 8.1 ist nicht nötig. Die Positionsbestimmung in den beiden Ausführungsbeispielen in Fig. 7 und 8 kann natürlich auch in Koordinaten erfolgen. Für das dritte Kombina-tionsbeispiel — einen GRAMAG-Sensor entsprechend Anspruch 5 mit einer Gelenkknickung wird auf Fig. 6 ver-wiesen. Bei Kenntnis der Länge von Gelenkglied 6.2 und wegen der Beschränkung auf eine ebene Drehung

10

(Normalebene zum aktuellen Drehachsvektor  $r_D$ ) kann aus der Erfassung des Gelenkwinkels  $\alpha$  in Kombination mit den bei Fig. 6 beschriebenen Geometriegrößen des Gelenkgliedes 6.1 die räumliche Position des Endpunktes E von Gelenkglied 6.2 ermittelt werden.

Fig. 9 zeigt ein Ausführungsbeispiel nach Anspruch 7. Über die Körperoberfläche eines Fingergelenkes 9.1 ist indirekt auf einem Handschuh 9.5 das Loslager 9.4 ange-bracht, indem sich das biegeelastische längenkonstante Teil 9.2 bewegen kann. Das Teil 9.2 ist im Ausführungs-beispiel ein teilweise durchsichtiges, dünnes Bändchen, welches am Festlager 9.3 festgemacht ist. ("Festlager" bedeutet hierbei die Funktion und nicht die Ausführung. D.h. das Teil 9.2 kann ebenso direkt auf dem Handschuh befestigt sein). Die geometrische Änderung zwischen Fest 9.3 und Loslager 9.4 (hier Knicken des Fingergelen-kes) bewirkt die durch den Doppelpfeil von Fig. 9.a (Draufsicht) symbolisierte Relativverschiebung des Teiles 9.2 im Loslager 9.4. Das Meßverfahren zur Ermitt-lung der Relativverschiebung besteht aus einer Lichtquelle 9.6 im — Loslager 9.4 über — und einem photo-empfindlichen Empfänger 9.7 — im Loslager 9.4 unter dem teilweise durchsichtigen Teil 9.2 — angeordnet. Das in Loslager 9.2 bewegliche Ende von Teil 9.2 ist nun wie in der Draufsicht (Fig. 9.a) zu erkennen mit einer lichtundurchlässigen Dreiecksfläche versehen. Dadurch bestimmt die Eindringtiefe — also die Relativverschie-bung — des Teiles 9.2 die Menge des zum photoemp-findlichen Empfängers 9.7 gelangenden Lichtes.

Fig. 10 zeigt ein Ausführungsbeispiel nach Anspruch 8. Auf der Oberfläche eines Handschuhes 10.5 ist an zwei Stellen 10.3 und 10.4 eines Fingergelenkes 10.1 ein dehnbares Sensormittel 10.2 befestigt. Dieses dehbare Sensormittel besteht aus einer dünnen, durchscheinenden Gummifolie, welche im Bereich des optischen Meß-aufnehmers gezielt mit nichtdehbaren undurchsichtigen Teilen belegt ist. Fig. 10a zeigt hierzu ein Streifen-muster 10.8 im ungedehnten Zustand, d. h. wenn der Finger wie in Fig. 10 dargestellt, gestreckt ist. Das dehbare Sensormittel 10.2 ist zwischen einem Lichtemitter 10.6 und einem photoempfindlichen Empfänger 10.7 hindurchgeführt. Bei Fingernickung (Fig. 10.b) erfährt das dehbare Sensormittel 10.2 eine Dehnung, welche einen größeren Abstand der lichtdurchlässigen Streifen (Fig. 10.c) bewirkt und somit die zum photoempfindli-chen Empfänger 10.7 gelangende Lichtmenge steuert.

Fig. 11 zeigt ein Ausführungsbeispiel nach Anspruch 9. Auf der Oberfläche eines Handschuhes 11.6 sind im Bereich des Fingergelenkes 11.1 ein Magnet 11.2 und ein Magnetfeldsensor 11.3 befestigt. Ein solcher Ma-gnetfeldsensor kann magnetoresistiver Art oder auch ein Hallsensor sein. Die Knickung des Fingergelenkes verändert die Feldstärke des vom Magnetfeldsensor 11.3 detektierten Feldes. (Fig. 11.a). Besonderer Vorteil dieser Ausführung ist, daß sie auch im "Innenbereich" von Knickungen anwendbar ist, wie die Positionen 11.4 und 11.5 auf der Unterseite des Fingers verdeutlichen.

In Fig. 12 ist ein Ausführungsbeispiel nach Anspruch 10 dargestellt. Auf der Oberfläche eines Handschuhes 12.5 ist an den beiden Gelenkkorten 12.3 und 12.4 ein schlauchförmiges Verbindungsmittel 12.2 befestigt. Im Schlauchinneren befindet sich ein Magnetfeldsensor 12.6 der bei gestreckten Finger den Abstand  $a_6$  zu außen angebrachten Magneten 12.7 einnimmt. Bei Fingernickung (Fig. 12a) verformt sich das schlauchförmige Ver-bindungsmittel 12.2 derart, daß sich der Abstand zwis-schen Sensor 12.6 und Magnet auf  $a_7$  verringert, und eine entsprechende Signaländerung bewirkt.

## DE 196 32 273 A1

11

Fig. 13 zeigt ein Ausführungsbeispiel entsprechend Anspruch 11. Über dem Gelenk 13.1 sind auf einem Handschuh 13.5 die beiden Lager 13.3 und 13.4 angebracht. Lager 13.4 ist als Loslager für das biegeelastische Verbindungsteil 13.2 ausgeführt. Der Abstand zwischen dem Verbindungsteil 13.2 und der Oberfläche des Gelenkes wird hier mittels eines Ultraschallreflexsensors 13.6 ermittelt und ist von der Knickung abhängig wie der Vergleich von Fig. 13 und 13a verdeutlicht.

Fig. 14 zeigt ein Ausführungsbeispiel des Anspruches 12. Es handelt sich dabei um die Kombination von Feldgrößen (Anspruch 3) und Abstand (Anspruch 4). Am Bassikörper 14.9 ist ein aus drei orthogonalen Spulen gebildeter Felderzeuger 14.1 angebracht. Dieser Felderzeuger ist zusammen mit dem am Gelenkarm 14.3 befestigten Felddetektor 14.2 und einer Datenverarbeitung in der Lage einen Richtungszeiger (3 Winkel) RZ bezüglich eines durch den Felderzeuger definierten Koordinatensystems zu bestimmen. Der Richtungszeiger RZ zeigt dabei zum Befestigungsort des Felddetektors 14.2 auf dem Gelenkarm 14. Die Position des aus ebenfalls drei orthogonalen Spulen aufgebauten Felddetektors 14.2 ist in diesem Fall die gewünschte Geometriegröße. Felderzeuger 14.1 und Felddetektor 14.3 funktionieren dabei nach dem Prinzip des nutirenden Feldes entsprechend US-Patent 4,054,881. Um die zur Positionsbestimmung noch fehlende Größe zur erhalten ist am Basiskörper 14.0 noch ein Ultraschallsender 14.5 im Ursprung des Koordinatensystems von Felderzeugers 14.1 platziert. Zusammen mit einem im Schnittpunkt der Felddetektorspulen 14.2 platzierten Ultraschallempfängers 14.4 wird so der zur Positionsbestimmung noch fehlende Abstand R erhalten. Die Abstandsmessung mit Ultraschall erfolgt nach einer der früher beschriebenen Standardmethoden.

Fig. 15 zeigt ein Kombinationsbeispiel für Anspruch 13. Dort ist das Verfahren von Felderzeuger und Felddetektor mit einer GRAMAG-Sensorik entsprechend zur Positionsbestimmung eines Ortes auf dem Gelenkarm 15.1 kombiniert. Der Felderzeuger 15.2 auf dem Basiskörper 15.0, liefert aufgrund seines nutirenden Feldes zusammen mit dem am Bestimmungsort auf dem Gelenkarm 15.1 befestigten Felddetektors 15.3 eine Richtungsgerade RG1. Die zweite – durch den Mittelpunkt MG des Gelenklagers 15.5 gehende – Richtungsgerade RG2 liefert der ebenfalls auf dem Gelenkarm 15.1 angebrachte GRAMAG-Sensor 15.4 (siehe hierzu Beschreibung zu Anspruch 5). Aus der Kenntnis des konstanten Vektors rg der vom Felderzeuger 15.2 zum Gelenklager 15.5 zeigt, lässt sich dann die gewünschte Position bestimmen. Neben der Position eines Gelenkarmortes ist mit den ermittelten Geometriegrößen auch die Orientierung des Gelenkarmes 15.1 bestimmbar. Im Sinne von Anspruch 13 wird in dem soeben geschilderten Ausführungsbeispiel eine körperbezogene Feldgröße (Richtung RG1) mit einer dem Gravitationsfeld und dem externen Erdmagnetfeld zugeordneten Größe (Richtung RG2 durch GRAMAG-Sensor) und der Gelenkgröße (Lagerposition rg) zur Bestimmung der Geometriegrößen "Position des Felddetektors 15.3" und "Richtung der Gelenkarmachse" kombiniert.

Fig. 16 zeigt eine weitere Ausgestaltung des Anspruches 13. Aufgrund der durch die Art des Gelenklagers 16.5 (hier Kugelgelenk) festgelegten Bewegungsmöglichkeit des Gelenkarmes 16.4 und des bekannten Abstandes Rs des auf dem Gelenkarm 16.4 zu bestimmenden Ortes S zur Gelenklagermitte GM genügt neben

12

dem Felddetektor 16.3 bereits ein Lotsensor 16.6 um die Position zu bestimmen. Bei Kenntnis der Bewegungsmöglichkeit und der Position des Gelenklagers wird also eine Richtungsangabe zum Erdmagnetfeld nicht benötigt.

Der mit dem Lotsensor 16.6 ermittelte Winkel  $\alpha$  zur Senkrechten (= Richtung zum Gravitationsvektor -g) definiert als einzige möglichen geometrischen Ort des Gelenkarmes 16.4 einen Kegel mit Spitze im Gelenkmittelpunkt GM. Bei Kenntnis des Abstandes Rs des gewählten Ortes S vom Gelenkmittelpunkt GM ist dessen Position dann auf einem eindeutig bestimmten Kreis zu finden. Die zweite nötige Positionsgröße liefert dann der von Felderzeuger 16.2 und Felddetektor 16.3 (mittels eines nutirenden Feldes) ermittelte Richtungszeiger RZ. Die dritte nötige Größe ist wieder der konstante Vektor rg vom Felderzeuger 16.2 zum Mittelpunkt GM des Gelenklagers 16.5.

Im Sinne von Anspruch 13 wird in dem genannten Ausführungsbeispiel die körperbezogene Feldgröße (Richtung RZ) mit den Gelenkgrößen Rs (= Abstand Gelenkmittelpunkt GM/Felddetektor 16.3), Position des Gelenklagers rg und "Kugelgelenk" sowie der dem Gravitationsfeld zugeordneten Maßgröße "Winkel  $\alpha$  zur Senkrechten" zur Bestimmung der Geometriegröße "Position des Felddetektors 16.3" kombiniert.

Fig. 17 zeigt ein einfaches Ausführungsbeispiel von Anspruch 14. Die zu ermittelnde Geometriegröße ist die Position eines auf dem Gelenkarm 17.1 befestigten Ultraschallempfängers 17.4. (= signalempfängendes, abstandsmittelndes Mittel). Hierfür werden die beiden Abstände  $r_{s1}$  und  $r_{s2}$  zwischen den Ultraschallsendern 17.2 und 17.3 und dem Ultraschallempfänger 17.4 mit den Gelenkgrößen rg = Lagerort, rg (Abstand des Ultraschallempfängers 17.4) und "Kugelgelenk" kombiniert. Die Position des Ultraschallempfängers 17.4 ist der Schnittpunkt dreier Kugeln ( $r_{s1}$ ,  $r_{s2}$ , rg) deren Mittelpunkte im xb, yb, zb-System, welches sich am Basiskörper 17.0 orientiert, gegeben sind. Zu den Ausführungsbeispielen die Ansprüche 12, 13, 14 betreffend ist noch gemeinsam zu bemerken, daß sie natürlich auch auf mehrere aneinandergehängte Gelenke anwendbar sind, und somit z. B. die Geometriegrößen einer ganzen Hand erfassen können.

Die in Anspruch 16 beschriebenen Geometriegrößen können unterschiedlichster Art sein, je nachdem mit welchem Verfahren sie ermittelt wurden.

Beispiele hierfür sind: Die relative Positionsbestimmung, welche aus einer Magnetfeldmessung (Anspruch 3) nach dem US-Patent 4,054,881 (Raab) ermittelt wurde; Abstandswerte aus einer Schallsignallaufzeitmessung (Anspruch 2), Knickwinkel von Fingergliedern; (Anspruch 11); Winkel zwischen einem Gelenkarm und dem Gravitationsvektor (Anspruch 5) usw. Um die Geometrie eines Körpers oder seiner Teile in einheitlicher Form zu beschreiben ist das Konzept von Koordinatensystemen eine vorteilhafte und überschaubare Methode. Weiterer Vorteil eines Koordinatensystemkonzeptes ist jedoch, daß es die Möglichkeit bietet Geometriegrößenwerte von einem in ein anderes Koordinatensystem zu transformieren. Deshalb ist es vorteilhaft die Geometriegrößenwerte in Koordinatenwerte umzuwandeln. Der Umwandlungsalgorithmus richtet sich ganz nach der Art der ermittelten Geometriegröße. Wurden beispielweise als Geometriegrößen die Knickwinkel von Fingergliedern 18.1, 18.2, 18.3 in Fig. 18 erfaßt, und sind deren Längen bekannt, so kann die Position der Finger-

## DE 196 32 273 A1

13

14

spitze 18.4 bezüglich eines definierten Punktes 18.12 (- Koordinatenursprung) auf dem Handrücken 18.8 in Koordinatenwerten berechnet werden. Voraussetzung ist hierbei noch die Definition der Koordinatenachsen, bezüglich ihrer Umgebung und untereinander. In Fig. 18 ist ein Koordinatensystem auf dem Handrücken definiert, welches in der Verlängerung der Achse 18.5 des ersten Mittelfingergliedes 18.1 im Abstand  $a$  vom ersten Mittelfingergelenk 18.6 seinen Ursprung hat. Die y-Achse liegt parallel zur Achse 18.5 des Mittelfingergliedes 18.1, die x-Achse ist senkrecht zur y-Achse, die z-Achse steht senkrecht auf der x,y-Ebene welche durch eine auf dem Handrücken liegende Fläche 18.7 definiert ist. Sinnvollerweise wird man eine kleine reale Fläche auf dem Handrücken anbringen um von "außen" die Lage des Koordinatensystems beobachten zu können. In praktischer Ausführung wird diese Koordinatenfläche durch einen Teil des Gehäuses 18.9 einer Meßeinrichtung und Datenverarbeitung gebildet. Neben der Positionsangabe einer Körperstelle kann auch ihre Orientierung von Interesse sein. Beispiel hierfür in Fig. 18 ist der Richtungspfeil  $R$ , welcher in Achsrichtung des letzten Fingergliedes 18.3 weist. Um die Orientierung eines Körpers im Raum zu definieren gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten. Der Richtungspfeil  $R$  kann z. B. durch seine drei Richtungskosinus ( $\alpha, \Phi, \Theta$ ) bezüglich der Koordinatenachsen angegeben werden. Wobei in diesem Spezialfall nicht alle Orientierungsmöglichkeiten über welche ein Körper im allgemeinen verfügt benötigt werden, da die Fingergelenke keine Drehung um die Gliedachse zulassen. Bekanntermaßen gibt es eine ganze Reihe von Möglichkeiten Koordinatensysteme zu bilden: orthogonale Koordinatensysteme, schiefwinkelige Koordinatensysteme, Polarkoordinatensysteme, Zylinderkoordinatensysteme. Jedes der genannten Koordinatensysteme benutzt andere Winkeldefinitionen welche ja die Voraussetzung einer Orientierungsangabe sind. Es ist aber auch denkbar neue Winkeldefinitionen einzuführen, wenn sie nur die Orientierung eindeutig festlegen. Die letzten Ausführungen waren die Erläuterung für den in Anspruch 18 eingeführten Begriff des Orientierungskonzeptes, welches eben dann notwendig ist, wenn auch die Orientierung einer Körperstelle beschrieben werden soll.

Die Knicksensoren 18.10 liefern Signale welche mittels der Datenverarbeitung 18.11 und des dort gespeicherten Umwandlungsalgorithmus in Koordinatenwerte bezüglich des Koordinatensystems des auf dem Handrücken 18.8 befestigten Gehäuses umgerechnet werden kann. Der Umrechnungsalgorithmus ist für jedes Verfahren unterschiedlich. Für das Beispiel in Fig. 18 soll er nachfolgend skizziert werden: Die feste räumliche Lage zwischen dem Koordinatenursprung und dem ersten Gelenk GZ1 des Zeigefingers wird durch den konstanten Vektor  $r_{z0}$  bestimmt. Um das Gelenk GZ1 ist der Vektor  $r_{z1}$  in einer auf der Gelenkachse A1-A1 senkrechten Ebene drehbar. Der Knickwinkel  $\alpha_0$  ist die einzige Variable, von welcher  $r_{z1}$  abhängt (seine Länge und Bewegungsebene sind ja bekannt). Das zweite Zeigefingergelenk GZ2 kann somit durch einen Vektor  $r_{z2} = r_{z0} + r_{z1} (\alpha_0)$  angegeben werden. Die weiteren Gelenke bis zur Fingerspitze  $r_{zs}$  ergeben sich dann zu

$$r_{zs} = r_{z0} + r_{z1} (\alpha_0) + r_{z2} (\alpha_1) + r_{z3} (\alpha_2);$$

damit ist ein Beispiel eines Umwandlungsalgorithmus von gemessenen Winkelwerten in cartesische Koordinaten aufgezeigt.

In dem gewählten Orientierungskonzept "Orthogo-

nalsystem" wird die Orientierung aus den Kosinus des Richtungspfeiles  $R^*z$  der Fingerspitzenachse gebildet

$$(R^*z = r_{zs} - r_{zG3} (\alpha_2)) / |r_{zs} - r_{zG3} (\alpha_2)|).$$

Fig. 3 mit der zugehörigen Beschreibung zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel von Anspruch 18. Das dort angewandte Verfahren des nutzenden Feldes in Kombination mit einer Ultraschallabstandsmessung erlaubt die Bestimmung von Position und Orientierung eines Sensors koordinatensystems.

Nachfolgend wird ein in der Darstellung fast gleiches Ausführungsbeispiel beschrieben welches auf dem Prinzip des US-Patentes 4,054,881 (Remote object position locator/Inv.Raab) basiert. Es wird hierbei nur der positionsbestimmende Aspekt betrachtet welcher von 3 gegenseitig orthogonalen Leiterschleifen in Fig. 19 erzielt wird. Die drei Leiterschleifen 19.1, 19.2 und 19.3 werden kurz nacheinander mit Wechselstrom erregt (gemultipliert). Sie erzeugen damit ein elektromagnetisches Feld, dessen Leistungskomponenten, von den drei orthogonalen Empfangsschleifen 19.4, 19.5 und 19.6 an einem Körper 19.7 erfaßt werden können. Jede dieser Leistungskomponenten ist von den Ortskoordinaten bezüglich des von den Referenzschleifen 19.1, 19.2, 19.3 gebildeten Koordinatensystems und von dessen Abstand abhängig. (s. US-Patent 4,054,881 Spalte 9). Somit ist die Position der Empfangsschleifen am Körper bestimmbar, wenn der Abstand  $R$  zwischen Referenzleiterschleifen und Empfangsschleifen noch mittels eines Ultraschallsenders 19.8 und eines Ultraschallempfängers 19.9 in bekannter Weise erfaßt wird.

(Das abgestrahlte Ultraschallsignal sendet gleichzeitig einen Funkimpuls 19.13 aus, der die Laufzeitmessung der Kommunikations-Recheneinheit 19.12 am Gürtel startet) Die Umrechnung der Feldmeßwerte im Geometriegrößen kann bereits am Körper 19.7 mit einem Mikrocontroller erfolgen oder die Meßdaten werden zur externen Kommunikations-Recheneinheit 19.11 zur Weiterverarbeitung geleitet. In Fig. 19 wird dabei Digitalfunk 19.10 verwendet und davon ausgegangen, daß sowohl die körperbefestigte Kommunikations-Recheneinheit 19.12 als auch die externe Kommunikations-Recheneinheit 19.11 jeweils über einen entsprechenden Sender/Empfänger verfügen.

Fig. 20 und 20a dienen der Illustration von Anspruch 19 bis 21. Die in Anspruch 21 beschriebene Positionserfassung einer Körperstelle erfolgt durch die Ermittlung der drei Abstände der am Körper 20.5 befestigten Empfangseinheit 20.6 von den drei Ultraschallemittoren 20.1, 20.2 und 20.3 welche in definierter räumlicher Beziehung zueinander stehen. Aus der Signallaufzeit der mit unterschiedlicher Kennung (Frequenz oder Code  $f_1, f_2, f_3$ ) versehenen Ultraschallpulse werden diese Abstände gewonnen und mittels analytischer Geometrie in Positionswerten der Empfangseinheit 20.6 – in Bezug zum Koordinatensystem  $x, y, z$  welches durch die Ultraschallmitter definiert ist – umgerechnet. Die Messung der Laufzeit der einzelnen Ultraschallpulse erfolgt in der Datenerfassung der Empfangseinheit 20.6. Die drei Ultraschallpulse werden im vorliegenden Beispiel gemeinsam gestartet, können aber auch nacheinander gemultipliert werden. Mit ihrem Start wird ein elektromagnetisches Triggersignal (Funkpuls, IR-Puls usw.) vom Emittor 20.4 abgestrahlt. Dieses elektromagnetische Triggersignal wird vom Detektor 20.10 in einem Millionsteil der Schallaufzeit empfangen und startet die Schallaufzeitmessung in der Empfangseinheit 20.6.

## DE 196 32 273 A1

15

16

(Fig. 20.a). Der Detektor 20.10 kann eine Photodiode, eine Antenne usw. sein, je welche Art von elektromagnetischer Strahlung verwendet wird. Nach einiger Zeit trudeln dann auch die Ultraschallsignale an den Ultraschallempfängern 20.7 (f3) 20.8 (f2) und 20.9 (f1) ein. Jedem Ultraschallempfänger ist ein Filter, eine Frequenzzählung oder eine Dekodierung nachgeschaltet und ia. mittels eines Mikrocontrollers realisiert. Auf diese Weise ermittelt ein bestimmter Ultraschallempfänger nur den Abstand eines bestimmten Ultraschallmitters. Im Mikrocontroller kann dann auch die Position errechnet werden und als Digitalcode 20.13 einer externen Recheneinheit 20.11 übermittelt werden. Im Ausführungsbeispiel nach Fig. 20 wurde als Datenübertragung der Funkweg mit der Antenne 20.1.1 gewählt. Die Daten können aber auch auf infrarotem oder Ultraschallweg übermittelt werden. Es können auch mehrere Empfänger der Art 20.6 am Körper angebracht werden, wenn es zweckdienlich ist; der externe Aufwand ist davon nicht betroffen.

## Patentansprüche

1. Ein Verfahren zur Erfassung, Transformation und Transport von mindestens einer Geometriegröße oder einem ihr zugehörigen Signal von mindestens einer Stelle eines Körpers, mittels einer beliebigen Anzahl von am Körper befestigten intelligenten Geometriesensoriksystemen dadurch gekennzeichnet,

- a) daß jedes der intelligenten Geometriesensoriksysteme in der Lage ist, mindestens eine Geometriegröße zu erfassen, umzuwandeln, weiterzugeben oder mindestens einen ihr zugehörigen Wert bezüglich eines durch Ausführung und Anordnung des intelligenten Geometriesensoriksystems definierten Koordinatensystems anzugeben
- b) daß jedes der intelligenten Geometriesensoriksysteme so ausgeführt ist, daß die charakteristischen Geometriegrößen (Koordinatenursprung und Orientierung) des von ihm gebildeten Koordinatensystems bezüglich eines weiteren intelligenten Geometriesensoriksystems erfaßt werden können
- c) daß jedes der intelligenten Geometriesensoriksysteme die ihm zugehörigen Geometriegrößenwerte (welche auch Ursprungposition und Orientierung von Koordinatensystemen von ihm untergeordneten intelligenten Geometriesensoriksystemen sein können) einem anderen intelligenten Geometriesensoriksystem übermitteln kann, welches dann die erhaltenen Geometriegrößenwerte auf sein eigenes Koordinatensystem transformieren kann, und somit mindestens ein Geometriegrößenwert jeder ausgewählten Körperstelle auf ein gewünschtes Körperkoordinatensystem bezogen werden kann
- d) daß jedes intelligente Geometriesensoriksystem seine Geometriegrößenwerte einer externen Datenverarbeitung weitergeben kann, und somit die Geometriegrößenwerte von gewünschten Körperstellen bezüglich jedes gewählten Körperkoordinatensystems in der externen Datenverarbeitung vorliegen.

2. Verfahren zur Bestimmung mindestens einer Geometriegröße oder einem ihr zugehörigen Si-

gnal von mindestens einer Stelle eines Körpers bezüglich eines körperexternen Koordinatensystems, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Geometriegröße des Koordinatensystems eines am Körper befestigten intelligenten Geometriesensoriksystems (entsprechend Anspruch 1) relativ zum Koordinatensystem eines externen intelligenten Geometriesensoriksystems erfaßt wird und diesem, von dem am Körper befestigten intelligenten Geometriesensoriksystem die Geometriegrößenwerte von beliebig ausgewählten, seinem Koordinatensystem zugeordneten Geometriegrößen oder Unterkordinatensystemen übermittelt werden, und somit das externe intelligente Geometriesensoriksystem beliebige körperbezogene Geometriegrößen (welche auch die Position und Orientierung von Koordinatensystemen anderer intelligenter Geometriesensoriksysteme sein können) auf sein (externes) Koordinatensystem mittels Koordinatentransformation umrechnen kann.

3. Ein Verfahren zur Erfassung mindestens einer Geometriegröße oder einem ihr zugehörigen Signal von mindestens einer Stelle eines Körpers, dadurch gekennzeichnet, daß an dem Körper mindestens ein Feld oder Strahlungserzeuger und mindestens ein Feld- oder Strahlungsdetektor angebracht ist, und das vom Feld- oder Strahlungsdetektor gelieferte Signal einer geometrischen Größe seines Ortes oder/und seiner Orientierung in Bezug zum Feld- oder Strahlungserzeuger zugeordnet werden kann, wobei die Zuordnung mittels einer optional am Körper angebrachten Datenverarbeitung erfolgen kann.

4. Ein Verfahren zur Erfassung des Abstandes oder eines abstandsabhängigen Signales mindestens zweier Stellen eines Körpers, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Signalemitter (Sender) und mindestens ein Signalempfänger am Körper angebracht sind, und die Laufzeit des Signales dem Abstand des Signalempfängers oder des Reflexionsorts vom Signalemitter (Sender) zugeordnet werden kann wobei die Zuordnung mittels einer optional am Körper angebrachten Datenverarbeitung erfolgen kann.

5. Ein Verfahren zur Bestimmung der Position und Orientierung von Gelenkgliedern eines Körpers bezüglich eines frei gewählten Koordinatensystems, dadurch gekennzeichnet, daß an jedem Gelenkglied und dem frei gewählten Koordinatensystem ein Mehrfachsensoren Meßgrößen erfaßt welche den Winkelabweichungen vom Gravitationsfeld und einem extremen, künstlichen oder natürlichen, homogenen Magnetfeld, — und wenn nötig der Beschleunigung — zugeordnet sind, und aus der rechnerischen Verknüpfung

- seiner Gelenklagerposition und Orientierung bezüglich des frei gewählten Koordinatensystems,
- der Orientierung des freigewählten Koordinatensystems bezüglich des Gravitations-Magnetfeldkoordinatensystems
- eines Relativvektors vom Befestigungsort des Mehrfachsensors zum Bewegungszentrum des Gelenkgliedes
- der Orientierungswinkel, welche der genannte Relativvektor mit den Koordinatenachsen des Mehrfachsensors einschließt und
- fallweise der Bewegungsmöglichkeiten des

## DE 196 32 273 A1

17

- Gelenkgliedes, mittels zugehöriger Datenverarbeitungsmittel die gewünschte Position und/ oder Orientierung bezüglich es frei gewählten Koordinatensystems bestimmt wird.
6. Ein Verfahren zur Erfassung von mindestens einer Geometriegröße oder einem ihr zugehörigen Signal von mindestens einer Stelle eines über Gelenke verfügenden Körpers, dadurch gekennzeichnet, daß aus mindestens einem die Gelenkknickung erfassenden Sensor und einem der Verfahren entsprechend Anspruch 3, 4 oder 5 sowie fallweise bedingt der Kenntnis von mindestens einer Gelenkgröße (Gelenklagerort, Bewegungsmöglichkeit, Relativvektor auf Gelenkglied) unter optionaler Verwendung einer Datenverarbeitung die gewünschte Geometriegröße gebildet wird. 5
7. Sensorik zur Erfassung von Meßgrößen, welche von der gegenseitigen räumlichen Beziehung von Orten auf einer Körperoberfläche abhängen, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Körperoberfläche direkt oder indirekt (auf oder in einer Körperbedeckung) ein Fest- und ein Loslager angebracht und durch ein biegeelastisches, längenkonstantes Teil verbunden sind, durch welches geometrische Änderungen der Befestigungsorte in eine Relativverschiebung zwischen dem biegeelastischen, längenkonstanten Teil und dem Loslager umgewandelt werden, und diese Relativverschiebung mit geeigneten Meßverfahren ermittelt wird. 10
8. Sensorik zur Erfassung von Meßgrößen, welche von der gegenseitigen räumlichen Beziehung von Orten auf einer Körperoberfläche abhängen, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Körperoberfläche direkt oder indirekt (auf oder in einer Körperbedeckung) an mindestens 2 Befestigungsstellen ein sie verbindendes dehnbares Sensormittel angebracht ist, so daß geometrische Änderungen der Befestigungsorte Dehnungsänderungen des Verbindungsteiles hervorrufen, welche sensorisch erfaßt werden können. 15
9. Sensorik zur Erfassung vom Meßgrößen, welche von der gegenseitigen räumlichen Beziehung von Orten auf einer Körperoberfläche abhängen, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Körperoberfläche direkt oder indirekt (auf oder in einer Körperbedeckung) mindestens ein feld- bzw. signalaussendendes Teil und ein feld- bzw. signalempfindliches Teil befestigt sind, so daß geometrische Änderungen der Befestigungsorte eine Änderung des empfangenen Feldes bzw. Signales wirken. 20
10. Sensorik zur Erfassung vom Meßgrößen, welche von der gegenseitigen räumlichen Beziehung von Orten auf einer Körperoberfläche abhängen, dadurch gekennzeichnet, daß an den Orten direkt oder indirekt (auf oder in einer Körperbedeckung) ein hohles elastisches Verbindungsmittel befestigt ist, wodurch geometrische Änderungen der Befestigungsorte eine Formänderung des Verbindungsmittels bewirken, welche mit geeigneten Sensormitteln erfaßt werden kann, und das hohle, elastische Verbindungsmittel auch als geschlossene unter Druck stehende Blase ausgeführt sein kann. 25
11. Sensorik zur Erfassung von Meßgrößen, welche von der Knickung eines Gelenkes abhängen, dadurch gekennzeichnet, daß über dem Gelenk direkt oder indirekt (auf oder in einer Körperbedeckung) zwei Lager zur Aufnahme eines biegeelastischen, längenkonstanten Verbindungsteiles angebracht

18

sind, so daß der Abstand des Verbindungsteiles zur Gelenk- bzw. Körperoberfläche konstruktiv bedingt- der Gelenkknickung zugeordnet ist, und durch geeignete Sensormittel erfaßt wird, wobei von den beiden Lagern eines als Loslager ausgeführt sein kann.

12. Ein Verfahren zur Bestimmung von mindestens einer Geometriegröße einer Stelle eines Körpers in Bezug auf mindestens eine andere körpereigene Stelle, dadurch gekennzeichnet, daß die Erfassung der gewünschten Geometriegröße durch geeignete Kombination der Art und Anzahl von Einzelverfahren entsprechend den Ansprüchen 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 erfolgt.

13. Ein Verfahren zur Bestimmung einer Geometriegröße von mindestens einer Stelle eines Körpers, bestehend aus mindestens einem körperfixierten Felderzeuger und mindestens einer körperfixierten Kombinationssensorik, dadurch gekennzeichnet, daß, die Kombinationssensorik neben den felddetektierenden Mitteln fallweise zusätzlich mit Sensor- und Datenverarbeitungsmitteln zur Erfassung von wenigstens einer dem Gravitationsfeld, oder einem (natürlichen oder künstlichen) externen Magnetfeld zugeordneten Meßgröße versehen ist und die Bestimmung der gewünschten Geometriegröße durch geeignete Kombination der genannten zusätzlichen Meßgrößen mit mindestens einer körperbezogenen Feldgröße oder durch zusätzliche Kombination mit mindestens einer geeigneten Gelenkgröße oder nur durch Kombination von mindestens einer körperbezogenen Feldgröße mit mindestens einer Gelenkgröße erfolgt.

14. Ein Verfahren zur Bestimmung einer Geometriegröße von mindestens einer Stelle eines Körpers, bestehend aus mindestens einem körperfixierten Signalemitter und mindestens einer körperfixierten Kombinationssensorik, dadurch gekennzeichnet, daß, die Kombinationssensorik neben signalempfängenden und abstandsdetektierenden Mitteln fallweise zusätzlich mit Sensor- und Datenverarbeitungsmitteln zur Erfassung von wenigstens einer dem Gravitationsfeld, oder einem (natürlichen oder künstlichen) externen Magnetfeld zugeordneten Meßgröße versehen ist und die Bestimmung der gewünschten Geometriegröße durch geeignete Kombination der genannten zusätzlichen Meßgrößen mit mindestens einer senderbezogenen Abstandsgröße oder durch zusätzliche Kombination mit mindestens einer geeigneten Gelenkgröße oder nur durch Kombination von mindestens einer senderbezogenen Abstandsgröße mit mindestens einer Gelenkgröße erfolgt.

15. Ein Verfahren zur Bestimmung der Geometriegröße von mindestens einer Stelle eines Körpers, nach einem der Ansprüche 5, 6 oder 12, 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß in räumlich definiter Position zum gravitationsempfindlichen Teil eines Mehrfachsensors (entsprechend Anspruch 5) oder eines Kombinationssensors (entsprechend einem der Ansprüche 5, 6, 12, 13, 14) ein Beschleunigungssensor für mindestens eine Komponente angebracht ist, durch dessen Meßwerte und einen geeigneten Algorithmus eine Korrektur der durch Beschleunigung verfälschten Meßwerte des gravitationsempfindlichen Teiles des Mehrfach- oder eines Kombinationssensors ausgeführt wird.

16. Ein Verfahren zur Umwandlung von Geome-

## DE 196 32 273 A1

19

triegrößenwerten in Koordinatenwerte, dadurch gekennzeichnet, daß Geometriegrößenwerte welche z. B. entsprechend den in den Ansprüchen 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 beschriebenen Verfahren ermittelt wurden, durch einen — in einer Datenverarbeitung gespeicherten — Umwandlungsalgorithmus auf Koordinatenwerte bezüglich eines definierten Körperortes (Koordinatenursprung) und wenn nötig bezüglich eines Orientierungskonzeptes umgerechnet werden, wobei der Umwandlungsalgorithmus den geometrischen Zusammenhang enthält, welcher zwischen erfaßten Geometriegrößenwerten, einer ihnen zugeordneten Körperstelle und dem definierten Koordinatenursprung und dem Orientierungskonzept besteht. 15  
17. Ein intelligentes Geometriesensoriksystem, dadurch gekennzeichnet,

- a) daß es mittels eines der in den Ansprüchen 3, 4, 5, 6, 12, 13, 14, 15 beschriebenen Verfahren in der Lage ist Geometriegrößen oder ihnen zugehörige Signale zu erfassen und umzuwandeln bzw. umzurechnen 20
- b) daß es mittels dem in Anspruch 16 beschriebenen Verfahren in der Lage ist ein Koordinatensystem auszubilden 25
- c) daß es über die Möglichkeit verfügt mittels vorhandener oder zusätzlich anzubringender sensorischer Mittel mindestens eine jener Geometriegrößen zu erfassen, welche die räumliche Situation seines Koordinatensystems bezüglich eines weiteren Koordinatensystems — welches einem anderen intelligenten Geometriesensoriksystem angehört — zu definieren 30
- d) daß es mit anderen intelligenten Geometriesensoriksystemen Daten austauschen kann. 35

18. Ein Verfahren zur Bestimmung der Position einer Körperstelle in Bezug auf ein körperexternes Koordinatensystem, dadurch gekennzeichnet, daß

- a) körperextern ein rotierendes magnetisches Gleich- oder ein nacheinander in drei Richtungen strahlendes elektromagnetisches Wechsel- oder Strahlungsfeld erzeugt wird, 40
- b) mittels an der gewählten Körperstelle angebrachter Felddetektionsmittel ein Richtungsvektor zum Ursprung des zur externen Feldquelle gehörenden Koordinatensystems bestimbar ist 45
- c) der Abstand zum externen Koordinatenursprung aus der Signallaufzeit von mindestens 50 einem externen Ultraschallsender zu einem fest mit dem körperbefestigten Felddetektionsmittel verbundenen Ultraschallempfänger bestimmt wird.

19. Ein Verfahren zur Erfassung des Abstandes 55 oder einem zugeordneten Wert zwischen mindestens einer Stelle eines Körpers und mindestens einer Stelle außerhalb des Körpers, dadurch gekennzeichnet,

- a) daß außerhalb des Körpers ein kombinierter Schall- und elektromagnetische Signale (auch Licht z. B. IR) emittierender Sender aufgestellt ist und an den zu erfassenden Körperstellen Schallsignalempfänger angebracht sind, sowie an beliebigen Körperstellen mindestens ein 65 Empfänger für elektromagnetische Signale angebracht ist
- b) daß vom körperexternen Kombinations-

20

emitter immer ein Paar aus Schall- und elektromagnetischen Signalen ausgestrahlt wird wobei das elektromagnetische Signale aufgrund der wesentlich kürzeren Laufzeit als reines Triggersignal für die Laufzeitmessung des Schallsignals verwendet wird

- c) daß aus der Laufzeit des Schallsignales mit am Körper angebrachten Datenverarbeitungsmitteln der Abstand zwischen der gewünschten Körperstelle und dem externen Kombinationsemitter ermittelt wird.
- d) Die Abstandswerte einer externen Datenverarbeitung übermittelt werden können.

20. Ein Verfahren zur Erfassung des Abstandes oder einem zugeordneten Wert zwischen mindestens einer Stelle eines Körpers und mindestens einer Stelle außerhalb des Körpers, dadurch gekennzeichnet, daß, das Verfahren wie in Anspruch 19 funktioniert, jedoch im Gegensatz dazu der Kombinationsemitter am Körper angebracht ist und die Empfänger für Schall und elektromagnetischen Signale außerhalb des Körpers sind.

21. Ein Verfahren zur Bestimmung von Koordinatenpositionen von Körperstellen bezüglich eines körperexternen Koordinatensystems, dadurch gekennzeichnet,

- a) daß sich außerhalb des Körpers drei Ultraschallmitter in definierter räumlicher Beziehung zueinander befinden, von denen jeder Signale mit einem eigenen Code oder einer eigenen Frequenz in Pulsen abstrahlt
- b) daß ein Emitter für elektromagnetische Strahlung gemeinsam mit dem Ultraschallpuls gestartet wird und das von ihm abgestrahlte Signal als Trigger für die Laufzeitmessung dient
- c) daß sich an der gewünschten Körperstelle eine Empfangseinheit befindet, welche aus mindestens einem Ultraschallempfänger und einem Empfänger für elektromagnetische Strahlung besteht
- d) daß jeder der körperbefestigten Ultraschallempfänger mit Decodierungs- oder Filtermitteln versehen ist, welche es erlauben, die eintreffenden Schallsignale zu unterscheiden
- e) daß mittels einer an die Empfangereinheit angeschlossenen Datenverarbeitung die Koordinaten der Empfangereinheit bezüglich des durch die externen Ultraschallmitter definierten Koordinatensystems errechnet werden
- f) daß sowohl die Abstände als auch Position der Körperstelle einer externen Datenverarbeitung übermittelt werden kann.

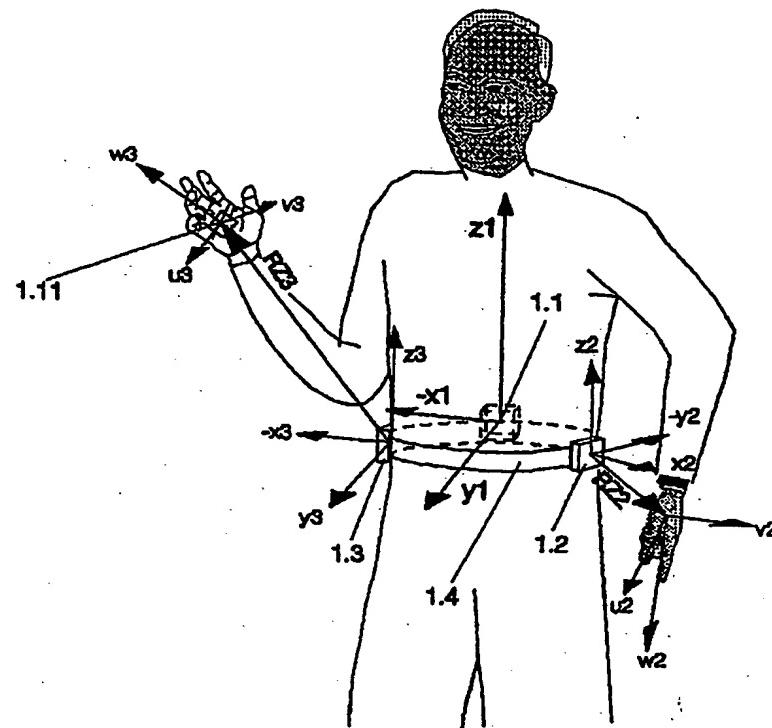
Hierzu 14 Seite(n) Zeichnungen

**- Leerseite -**

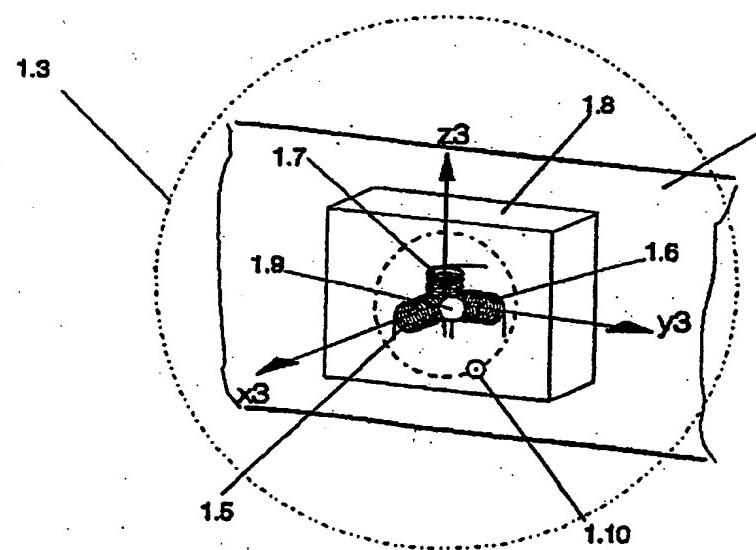
## ZEICHNUNGEN SEITE 1

Nummer:  
Int. Cl.º:  
Offenlegungstag:

DE 196 32 273 A1  
G 01 D 21/02  
12. Februar 1998



Figur 1



Figur 1a

## ZEICHNUNGEN SEITE 2

Nummer:

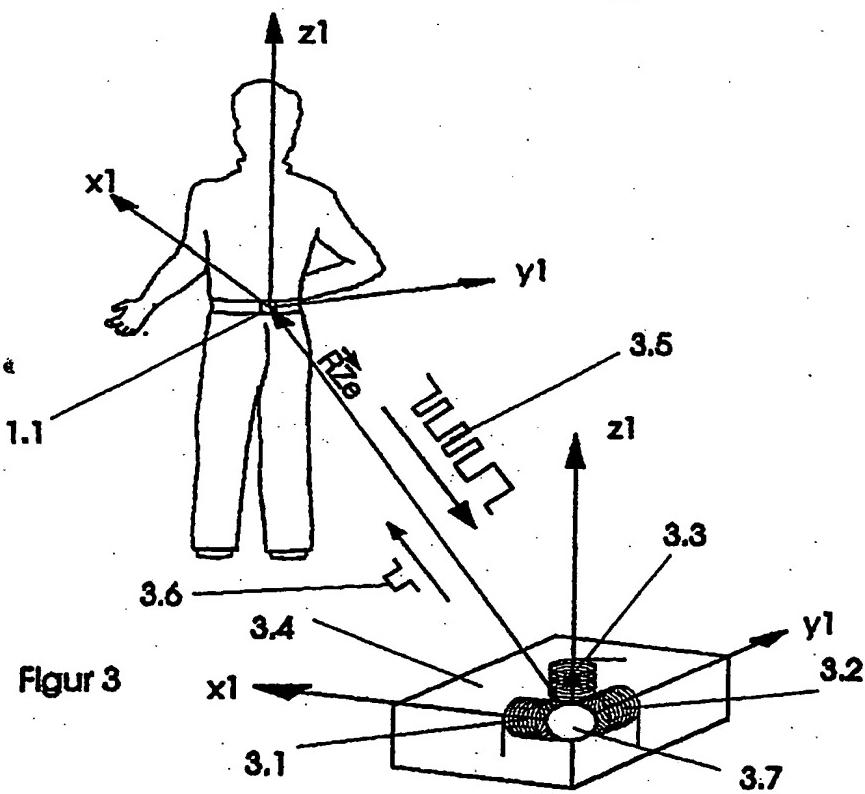
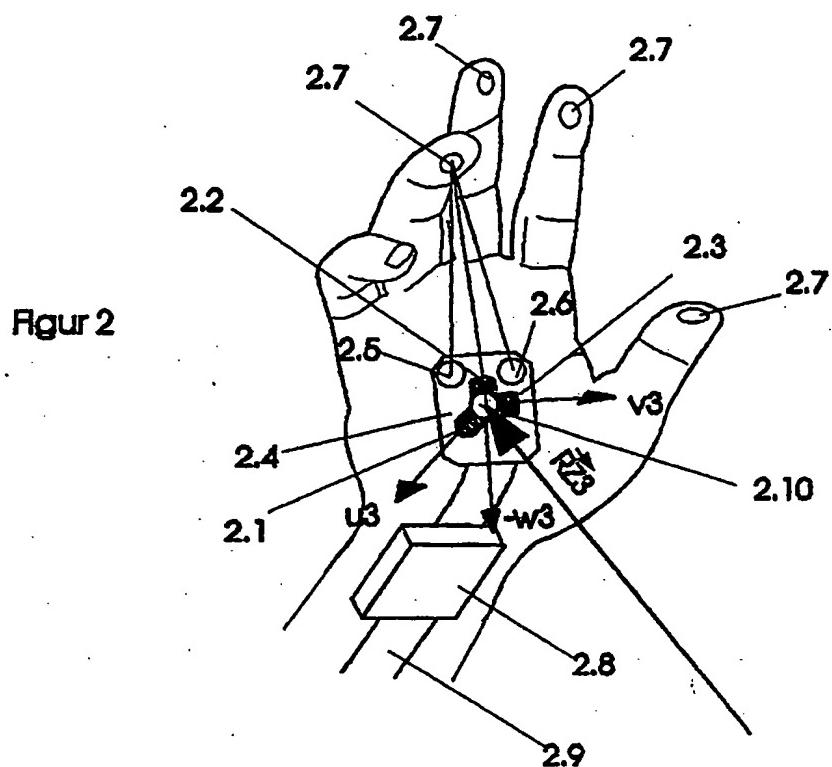
Int. Cl. 6:

Offenlegungstag:

DE 196 32 273 A1

G 01 D 21/02

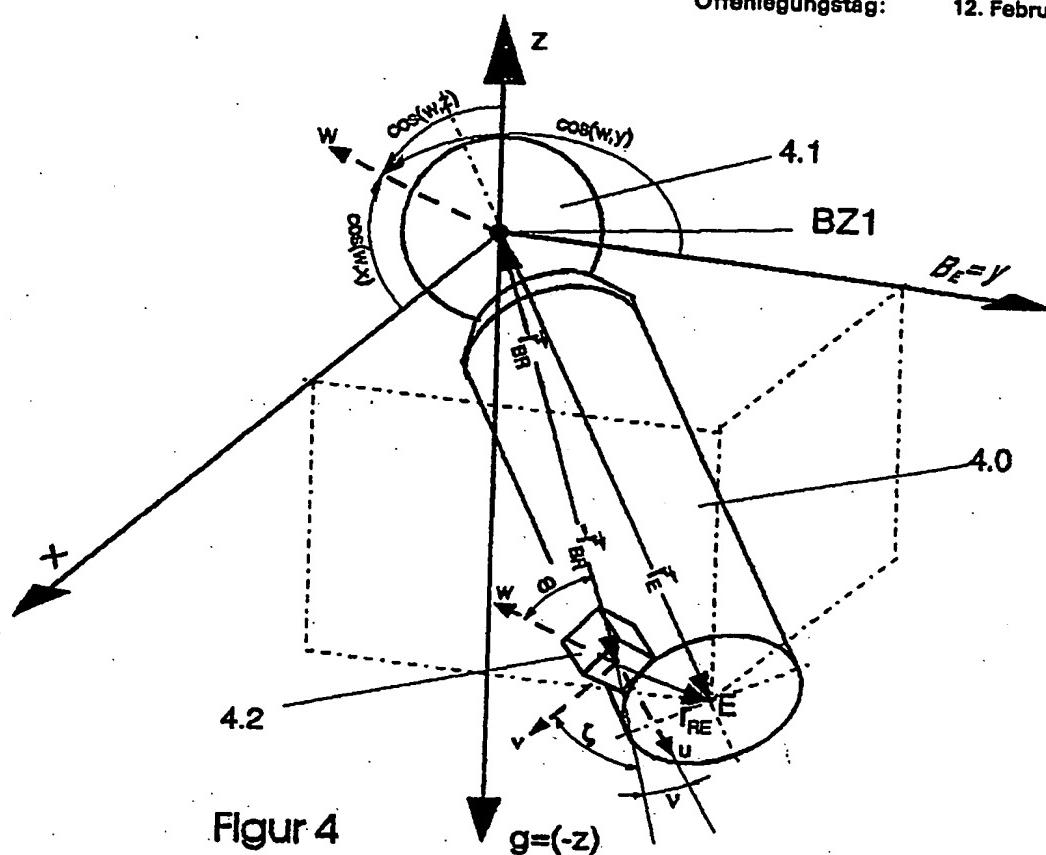
12. Februar 1998



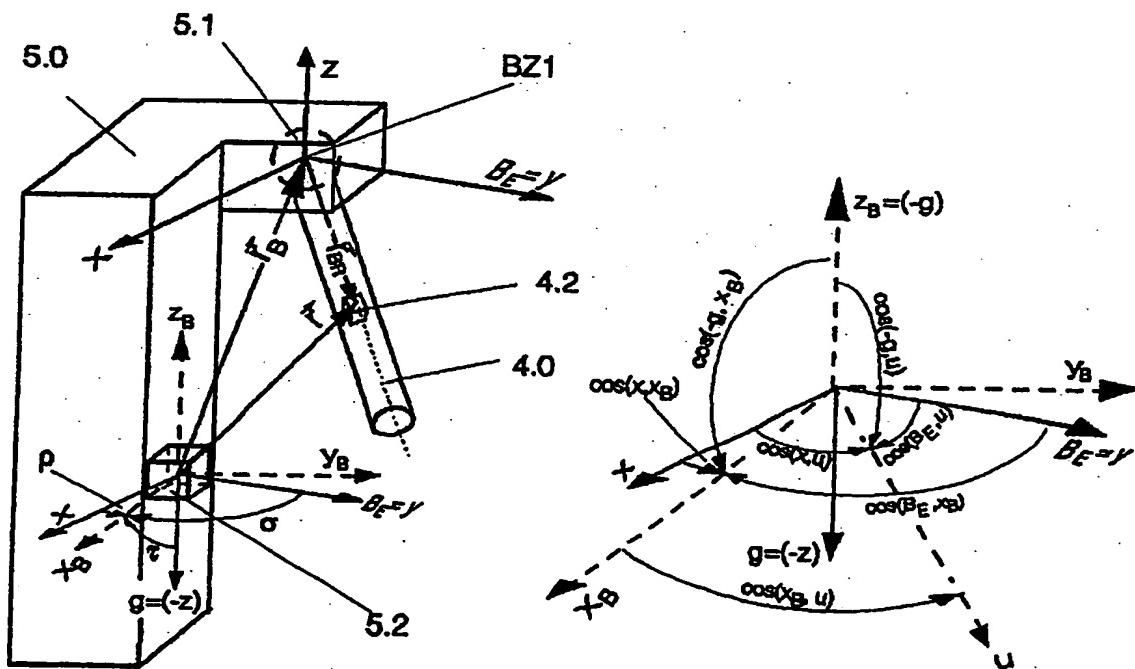
ZEICHNUNGEN SEITE 3

**Nummer:**  
**Int. Cl.®:**  
**Offenlegungstag:**

**DE 196 32 273 A1  
G 01 D 21/02  
12. Februar 1998**



Figur 4



Figur 5

Figur 5a

702 067/379

ZEICHNUNGEN SEITE 4

**Nummer:**

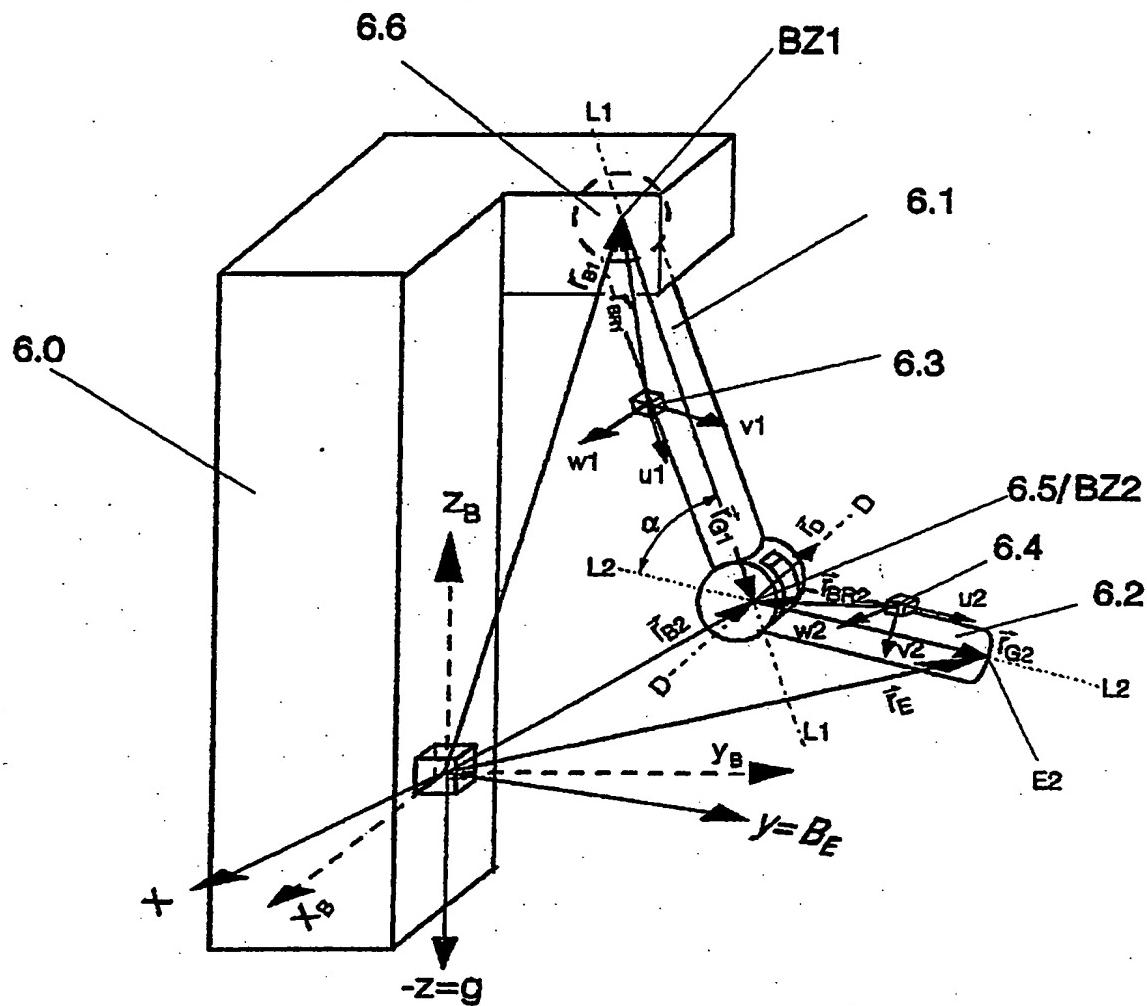
Int. Cl. 6:

ME. GR. :

DE 196 32 273 A1

G 01 B 21/02

12. Februar 1998

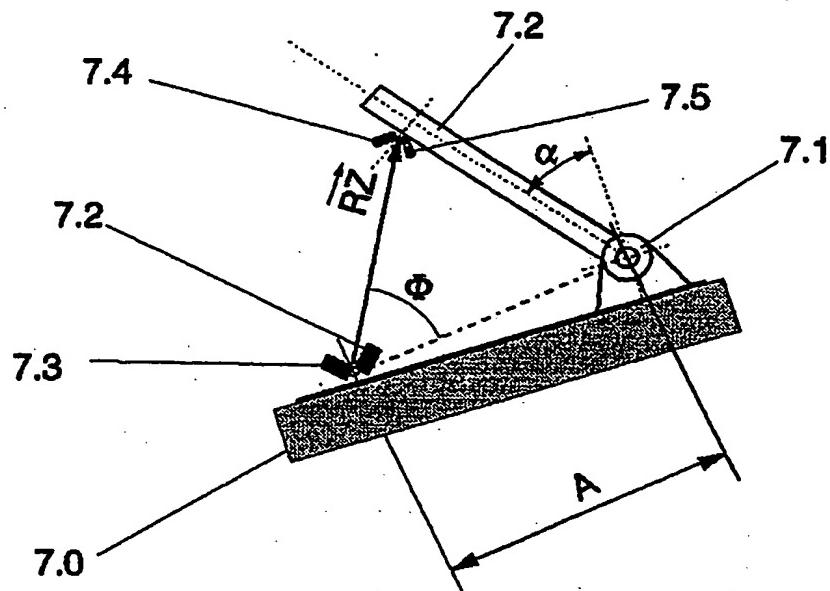


Figur 6

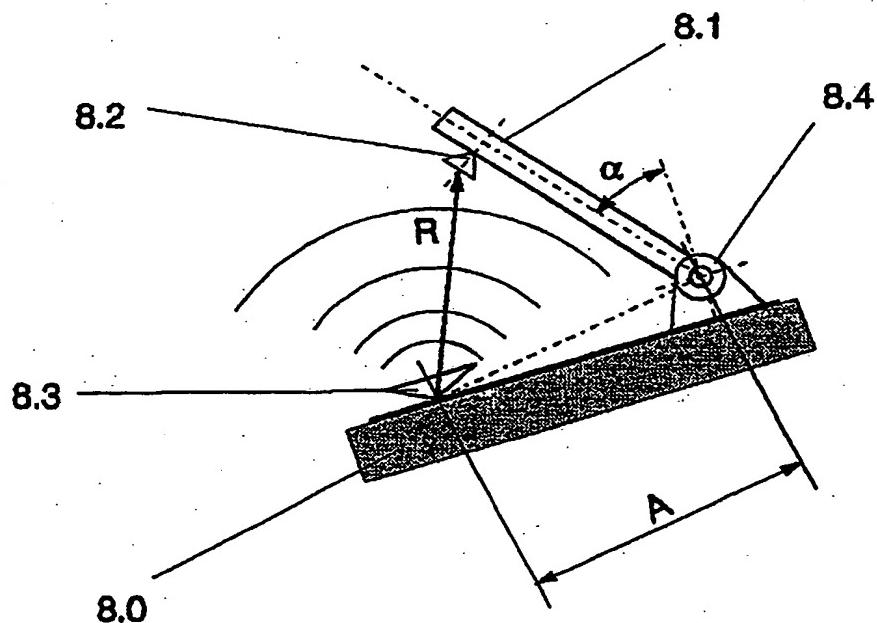
ZEICHNUNGEN SEITE 5

Nummer:  
Int. Cl. 6:  
Offenlegungstag:

DE 196 32 273 A1  
G 01 D 21/02  
12. Februar 1998



Figur 7



Figur 8

## ZEICHNUNGEN SEITE 6

Nummer:

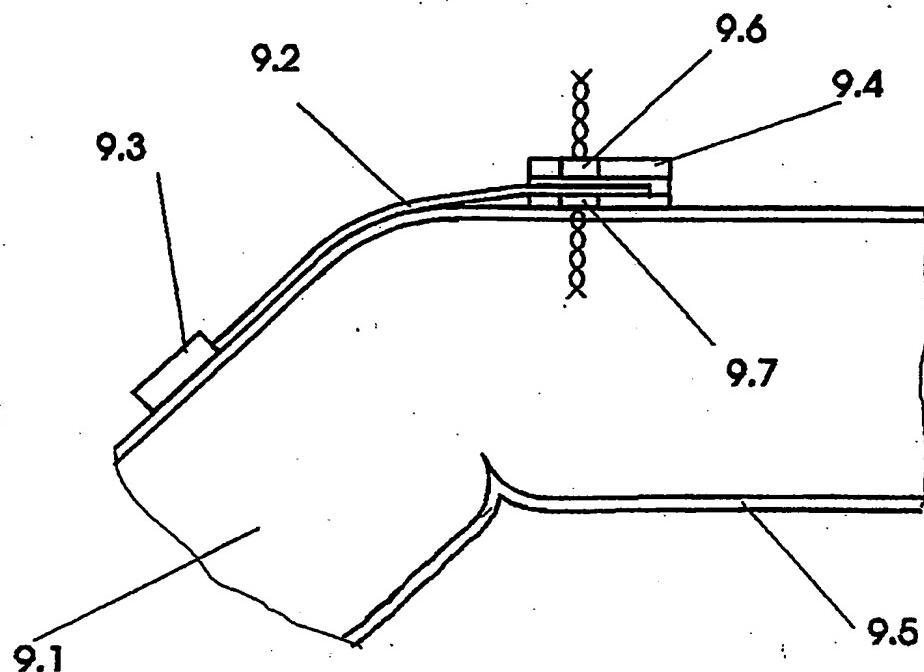
DE 196 32 273 A1

Int. Cl. 6:

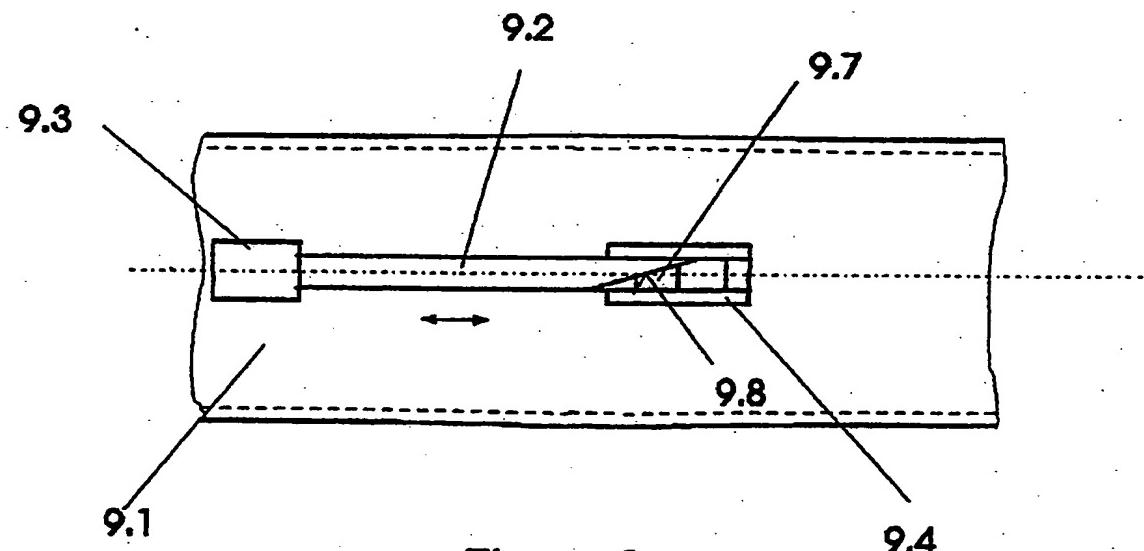
G 01 D 21/02

Offenlegungstag:

12. Februar 1998



Figur 9



Flgur 9a

## ZEICHNUNGEN SEITE 7

Nummer:

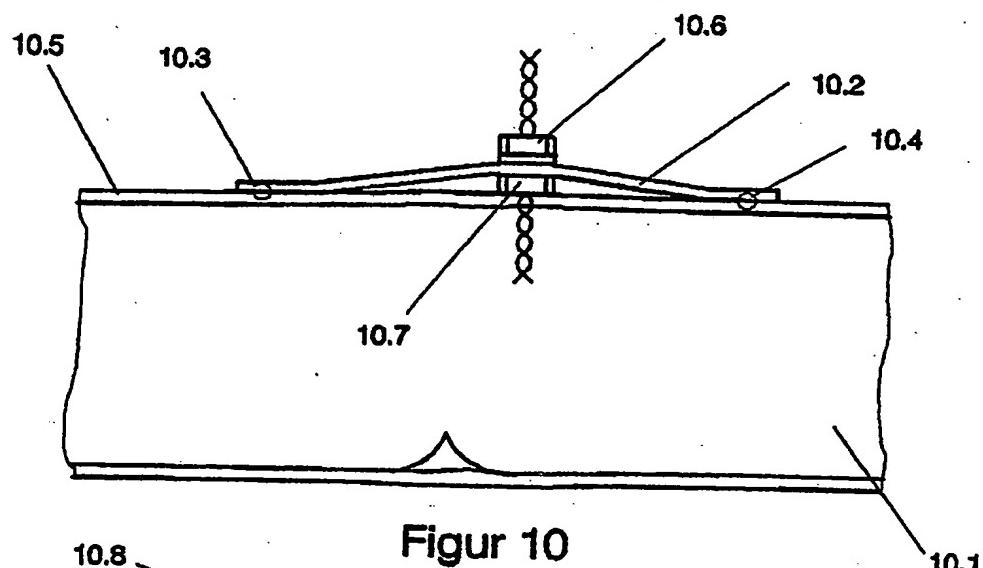
Int. Cl. 6:

Offenlegungstag:

DE 196 32 273 A1

G 01 D 21/02

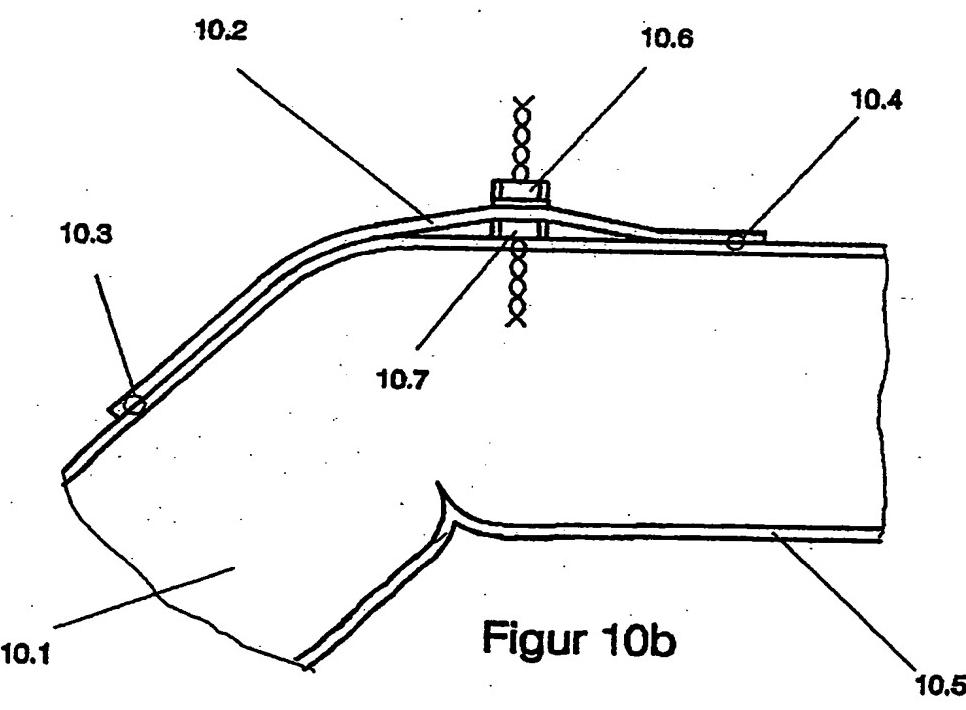
12. Februar 1998



Figur 10



Figur 10a



Figur 10b



Figur 10c

## ZEICHNUNGEN SEITE 8

Nummer:

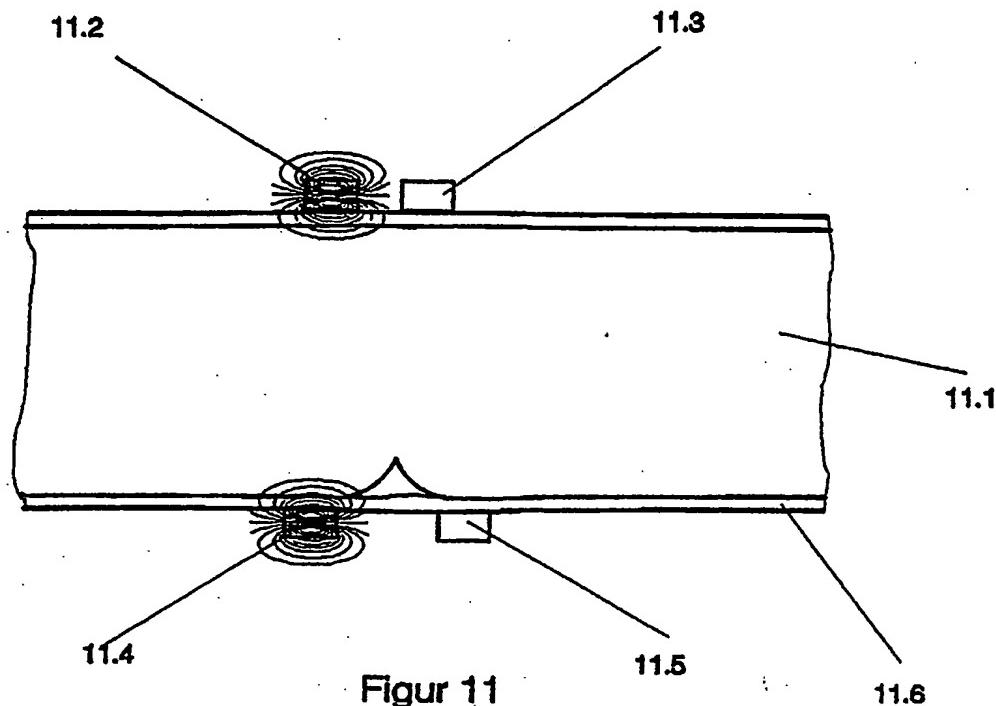
Int. Cl. 6:

Offenlegungstag:

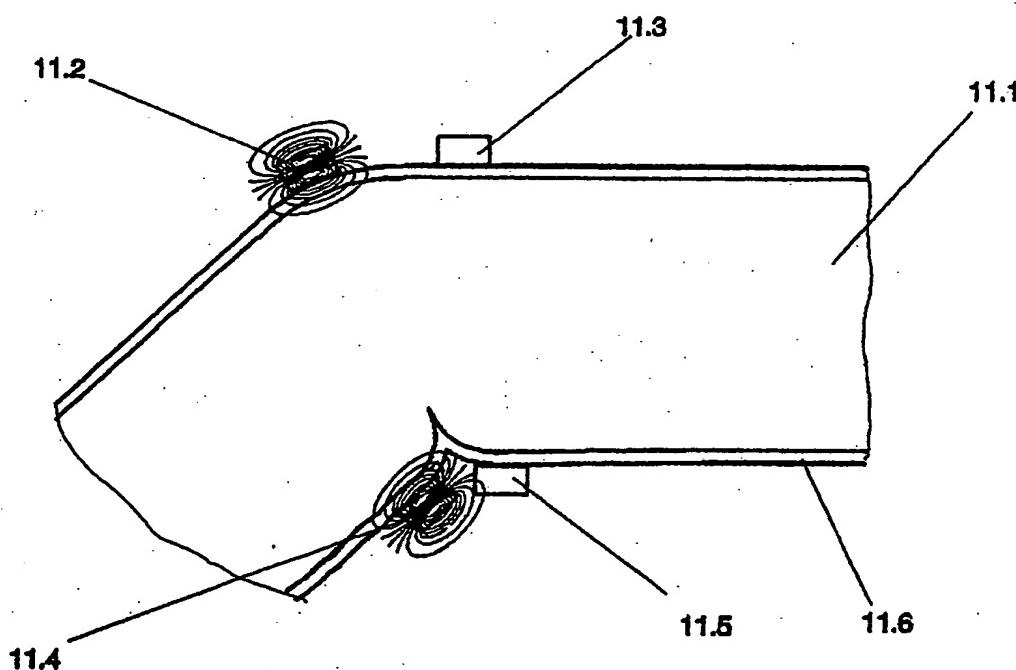
DE 196 32 273 A1

G 01 D 21/02

12. Februar 1998



Figur 11



Figur 11a

## ZEICHNUNGEN SEITE 9

Nummer:

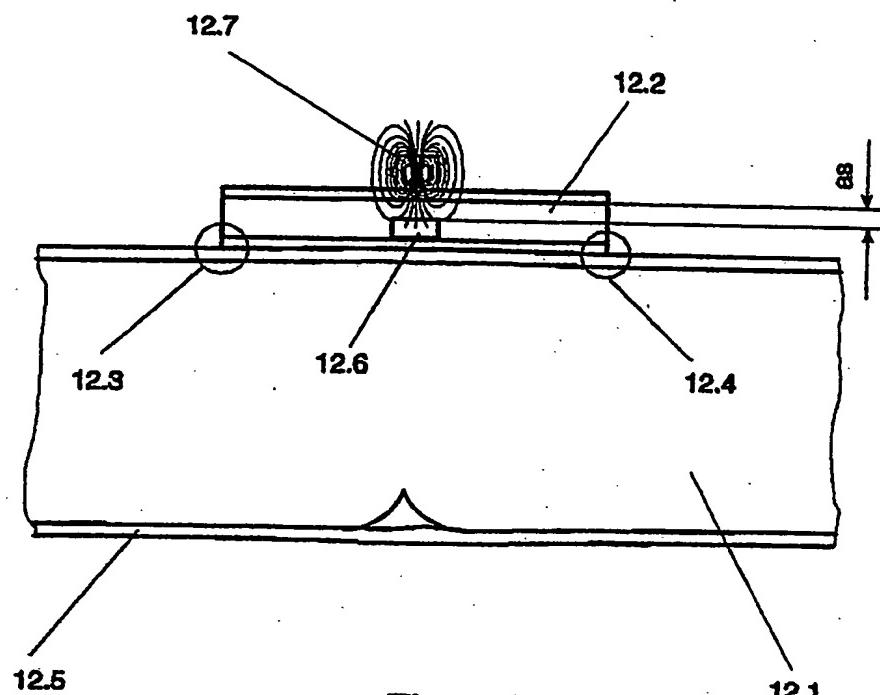
Int. Cl. 8:

Offenlegungstag:

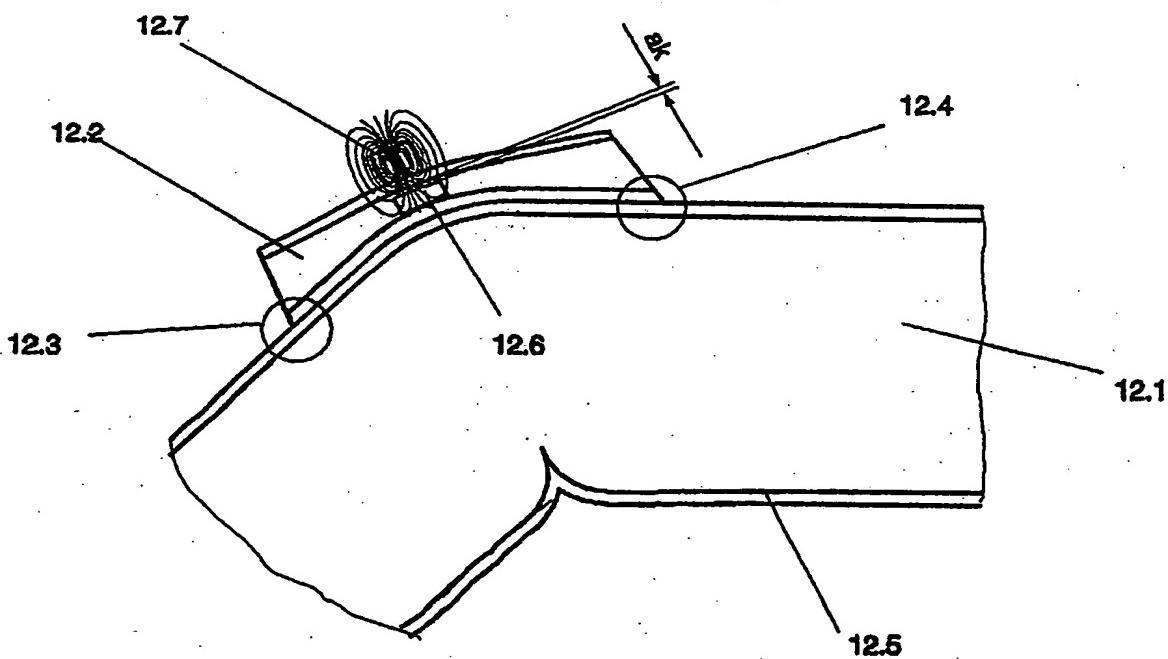
DE 196 32 273 A1

G 01 D 21/02

12. Februar 1998



Figur 12

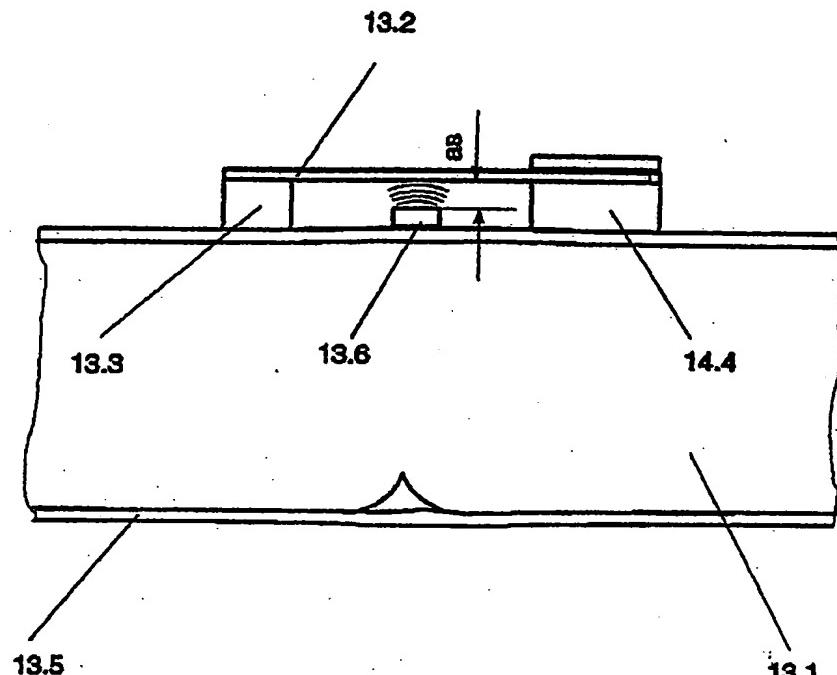


Figur 12a

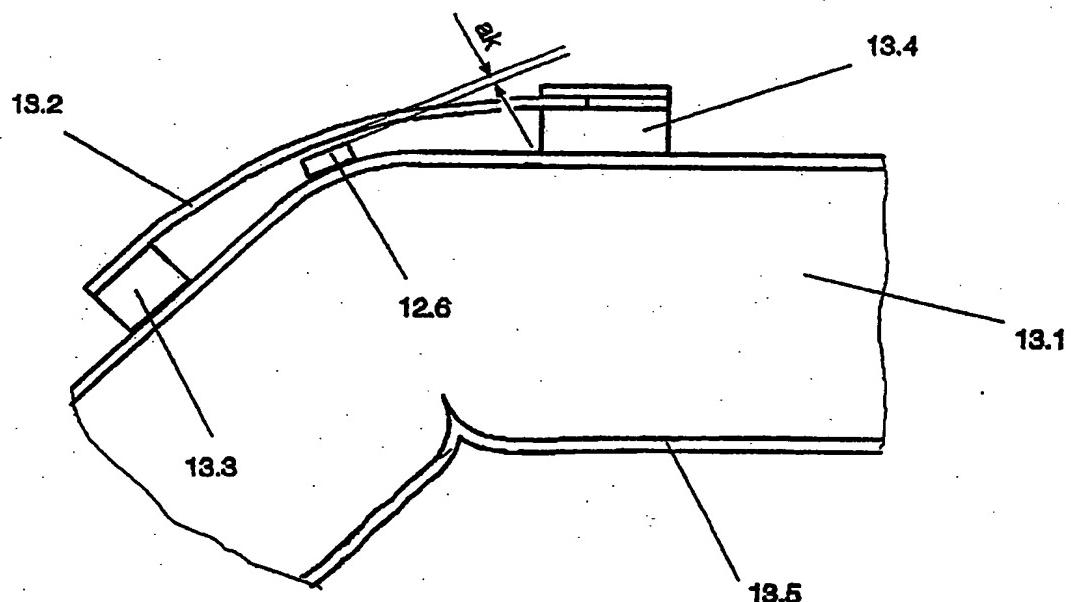
## ZEICHNUNGEN SEITE 10

Nummer:  
Int. Cl. 6:  
Offenlegungstag:

DE 196 32 273 A1  
G 01 D 21/02  
12. Februar 1998



Figur 13



Figur 13a

## ZEICHNUNGEN SEITE 11

Nummer:

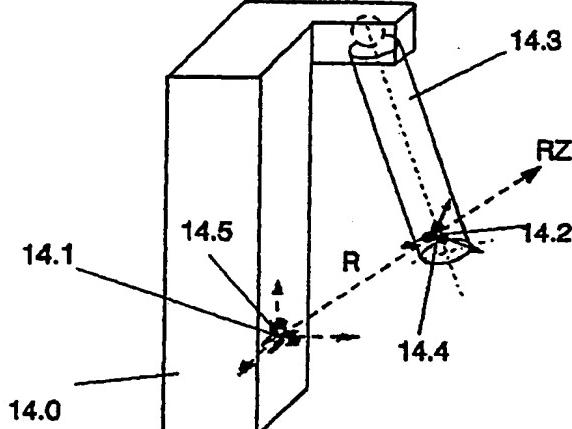
Int. Cl.®:

Offenlegungstag:

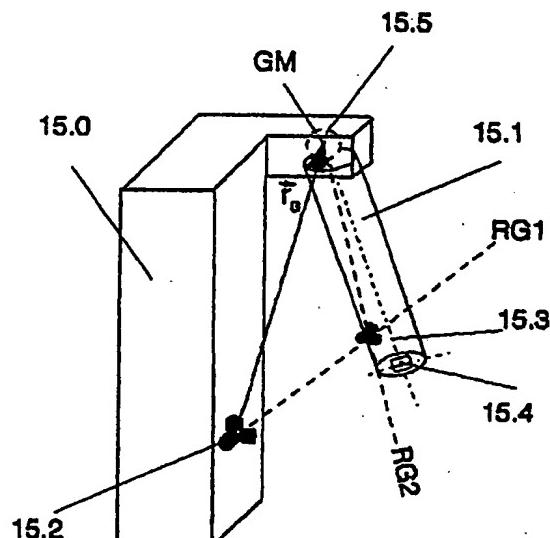
DE 196 32 273 A1

G 01 D 21/02

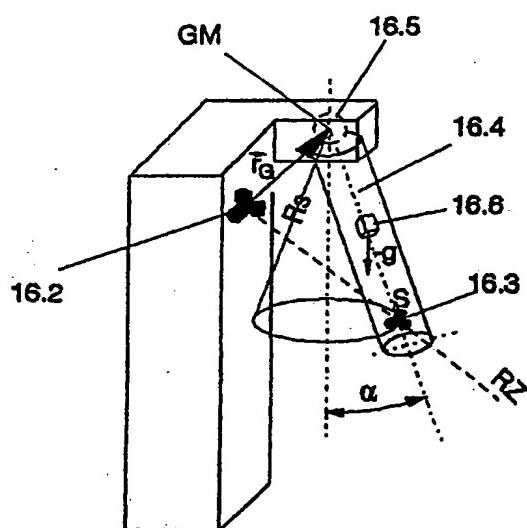
12. Februar 1998



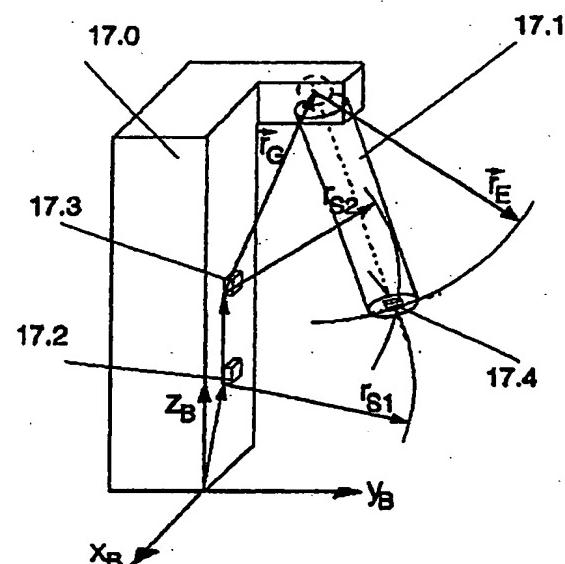
Figur 14



Figur 15



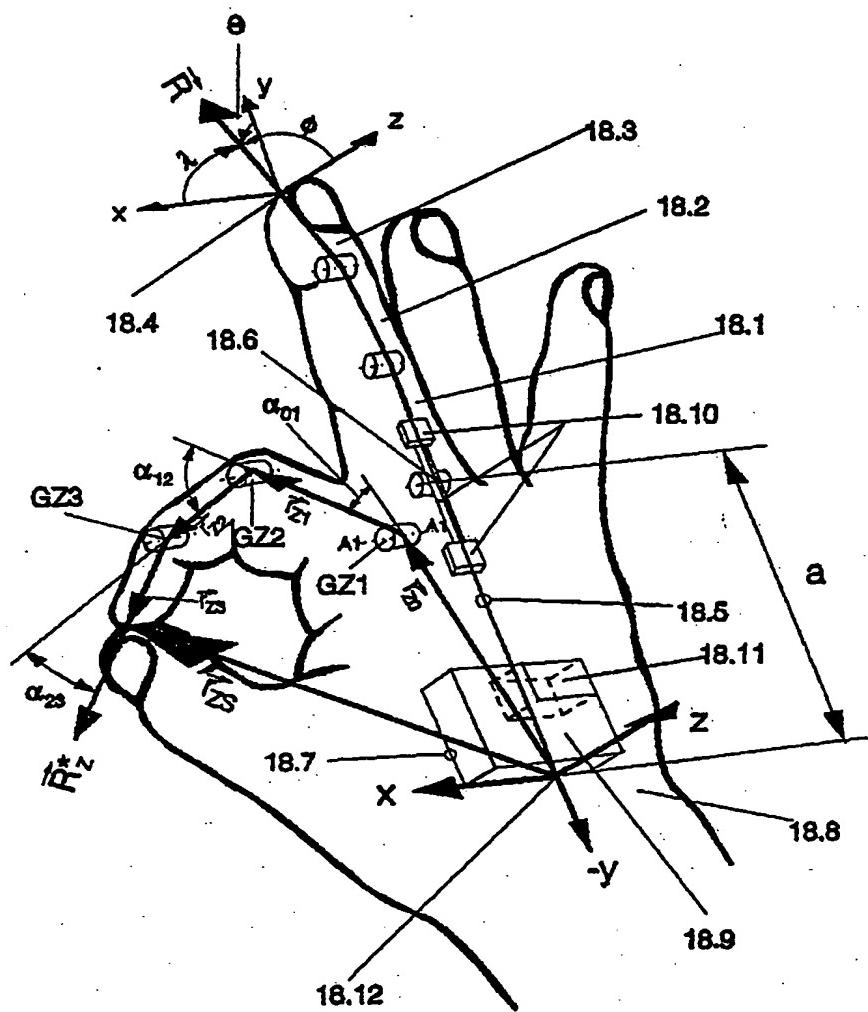
Figur 16



Figur 17

ZEICHNUNGEN SEITE 12

Nummer: DE 196 32 273 A1  
 Int. Cl. 6: G 01 D 21/02  
 Offenlegungstag: 12. Februar 1998



Figur 18

## ZEICHNUNGEN SEITE 13

Nummer:

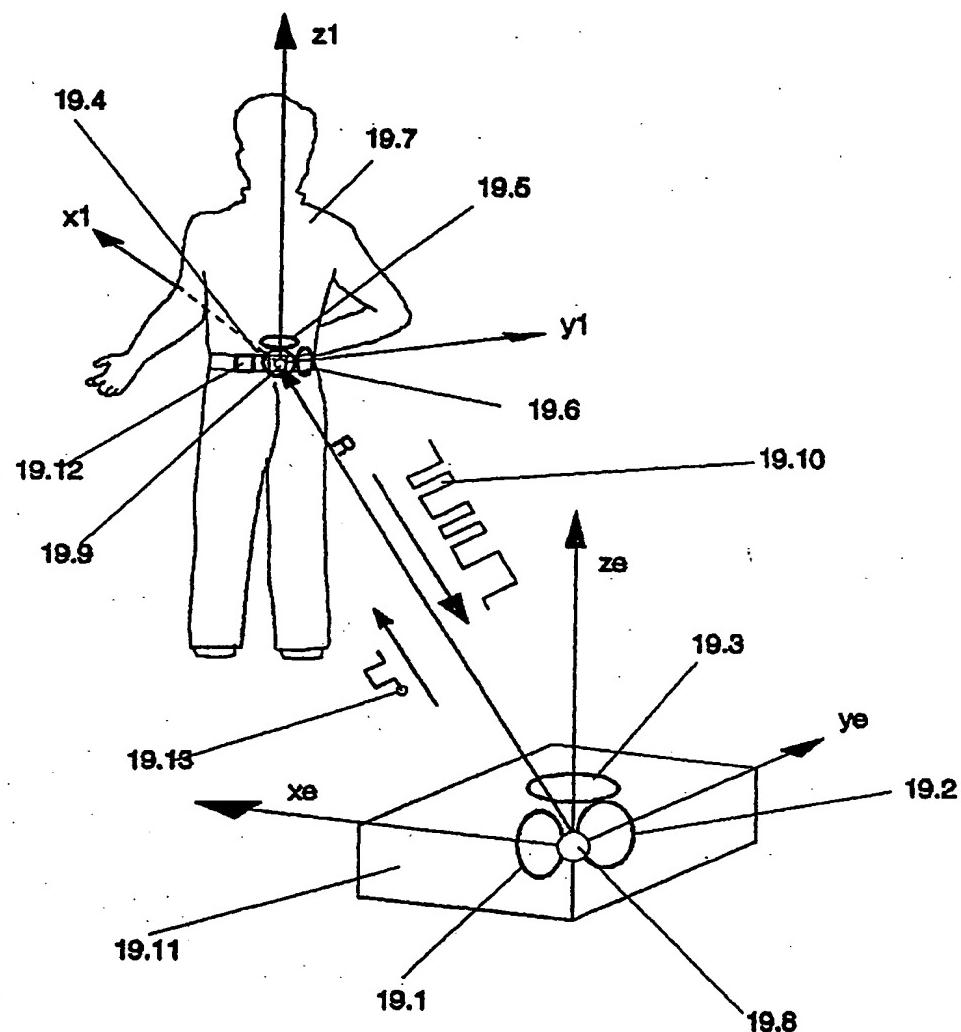
Int. Cl. 6:

Offenlegungstag:

DE 196 32 273 A1

G 01 D 21/02

12. Februar 1998



Figur 19

## ZEICHNUNGEN SEITE 14

Nummer:

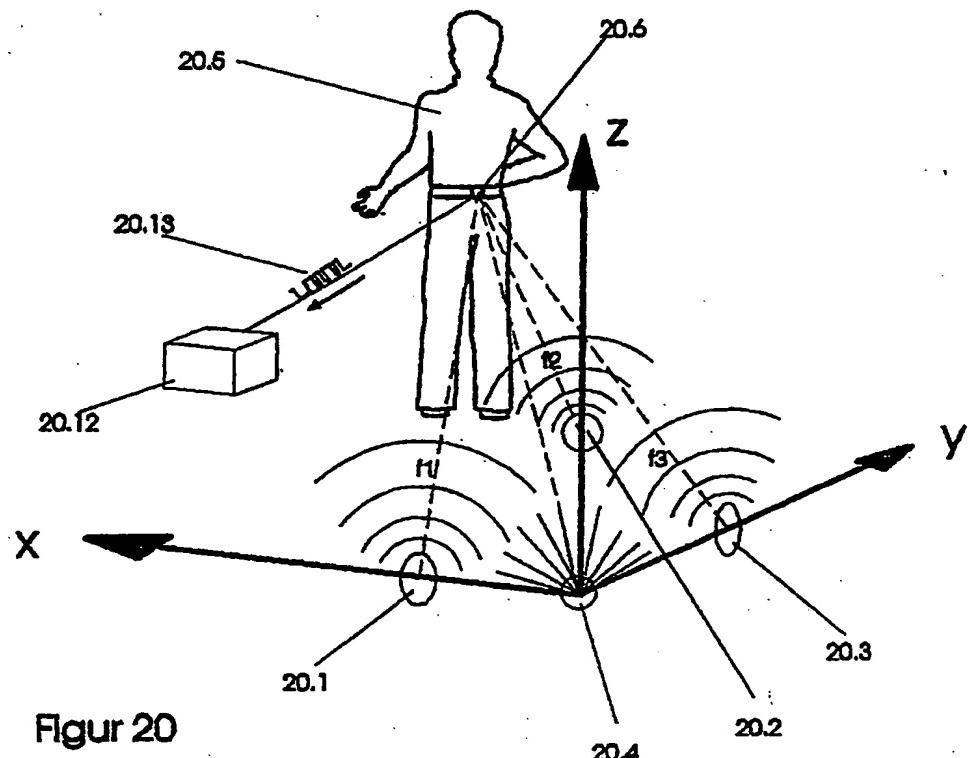
Int. Cl. 8:

Offenlegungstag:

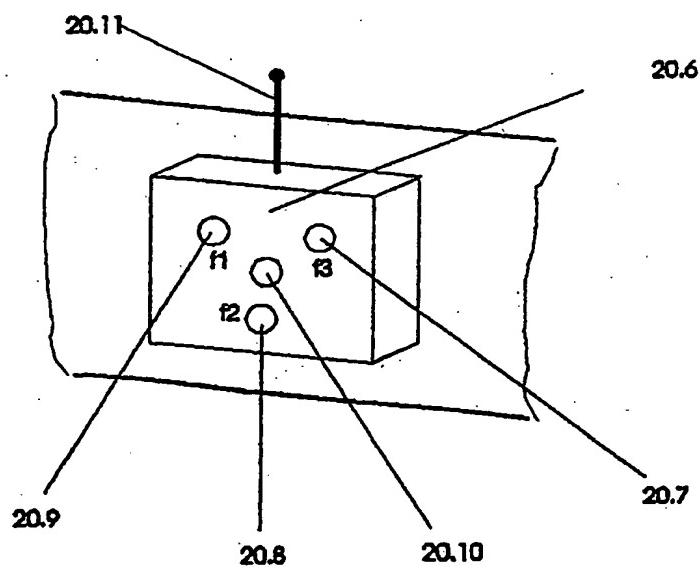
DE 196 32 273 A1

G 01 D 21/02

12. Februar 1998



Figur 20



Figur 20a

702 057/379

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**